This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

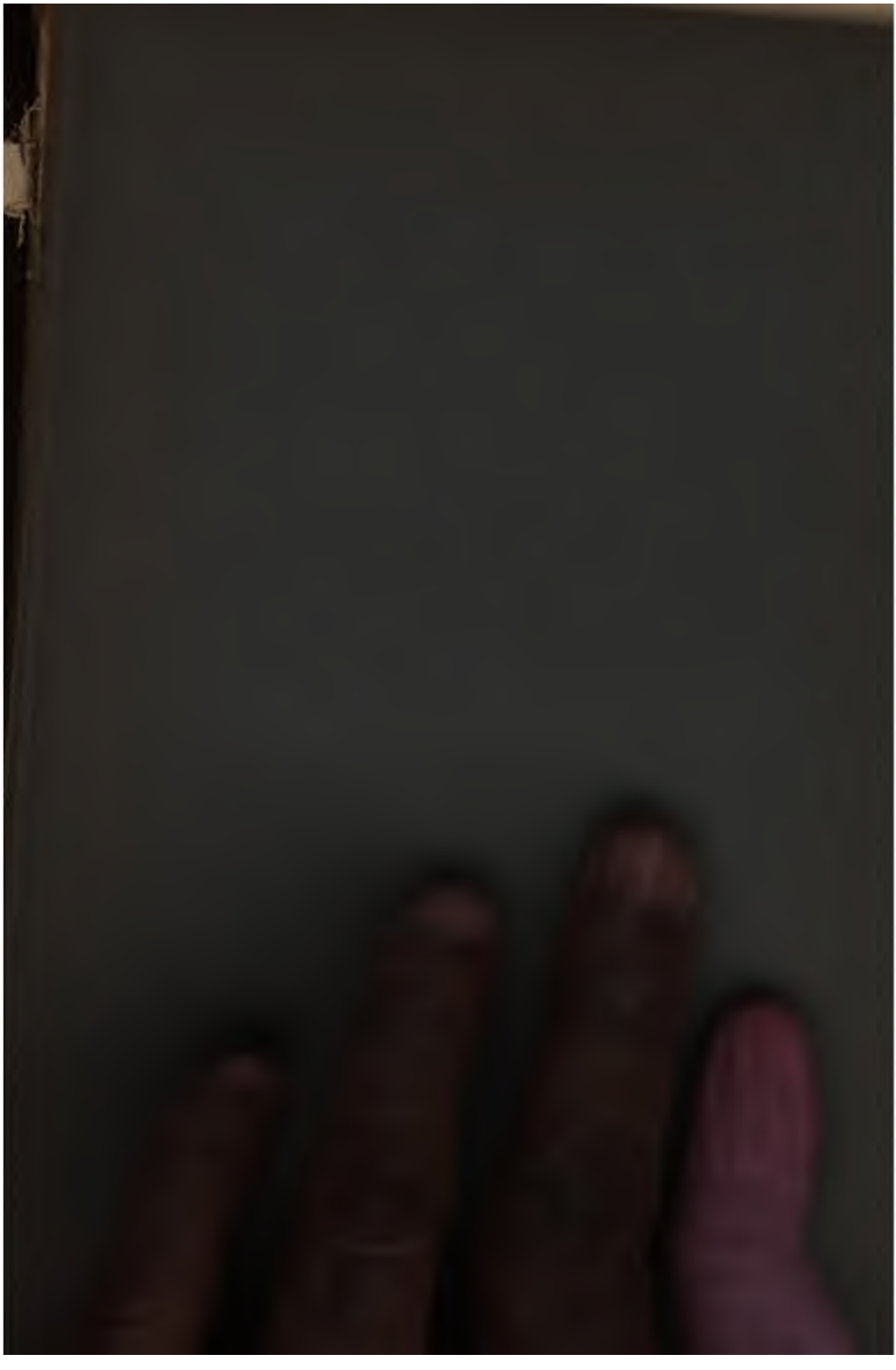
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



LES

TRAMWAYS

ÉLECTRIQUES

LES

TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

DISPOSITIONS GÉNÉRALES — VOIE
TRAMWAYS A CONDUCTEURS AÉRIENS, SOUTERRAINS
A CONTACTS SUPERFICIELS
TRAMWAYS A ACCUMULATEURS — MATÉRIEL ROULANT
DÉPOTS, ATELIERS
PRODUCTION ET TRANSFORMATION DE L'ÉLECTRICITÉ
EXPLOITATION — DÉPENSES — CONCESSIONS
RÉGLEMENTATION

PAR

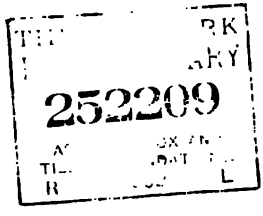
HENRI MARÉCHAL
Ingénieur des Ponts et Chaussées

Seconde édition, entièrement refondue

PARIS
LIBRAIRIE POLYTECHNIQUE, CH. BÉRANGER, ÉDITEUR
SUCCESSEUR DE BAUDRY ET Cie
15, RUE DES SAINTS-PÈRES, 15
MAISON A LIÈGE, 21, RUE DE LA RÉGENCE

1902

Tous droits réservés.


252209

PRÉFACE

Lorsque nous avons fait paraître la première édition de cet ouvrage, les tramways électriques — du moins en France et en Europe — venaient à peine de faire leur apparition.

Depuis, ce système de traction a reçu un développement rapide et des capitaux considérables ont été affectés à la création de nombreux réseaux de tramways.

Si les résultats financiers obtenus jusqu'ici n'ont pas été généralement très satisfaisants, la faute n'en est pas au système de traction, dont les avantages sont indiscutables. La traction électrique, surtout la traction par trolley, est de beaucoup la plus sûre, la plus souple et la plus économique.

Mais il ne faut pas oublier que les charges qui pèsent sur une exploitation de tramways sont nombreuses et qu'une entreprise de cette nature n'est susceptible de donner ce que l'on peut attendre d'elle, qu'à la condi-

tion que l'exploitant veille attentivement sur toutes les sources de dépenses, et qu'il s'ingénie, par des combinaisons variées, à accroître le trafic de son entreprise.

Aussi, étant donnée la nouvelle phase dans laquelle entre l'industrie des tramways, il nous a semblé que nous devions élargir un peu notre cadre et réserver une place spéciale aux questions d'exploitation et d'entretien.

Nous avons pensé également qu'il était bon de préciser quelle était la situation des concessionnaires vis-à-vis des différentes administrations publiques.

Mais ces additions, ainsi que les nombreuses modifications apportées, en raison des progrès de l'industrie, aux diverses matières précédemment traitées ne nous ont pas fait perdre de vue le caractère primitif de cet ouvrage.

Nous nous sommes astreint, comme dans la première édition, à réunir et à exposer plutôt des données générales, ayant eu comme principal objectif de permettre au lecteur de se former rapidement une appréciation d'ensemble sur toute cette nouvelle catégorie de tramways.

H. M.

LES

TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

CHAPITRE PREMIER

DISPOSITIONS GÉNÉRALES DES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

Caractéristique d'un tramway électrique. — Tramways avec conducteurs aériens et trolley. — Tramways avec conducteurs aériens et archet. — Tramways avec conducteurs souterrains. — Tramways à contacts superficiels. — Tramways à accumulateurs. — Systèmes mixtes. — Courants employés pour la traction des tramways : *a*) Courants continus ; *b*) Courants alternatifs et polyphasés. — Alimentation des lignes par un transport de force.

Caractéristique d'un tramway électrique. — Un *tramway électrique* est caractérisé par l'emploi de *moteurs électriques*, généralement placés sous la caisse des voitures et actionnant les essieux soit directement, soit par l'intermédiaire de bielles, de chaînes ou d'engrenages.

La puissance du moteur électrique dépend de l'effort de traction à produire et de la vitesse à réaliser. La tendance actuelle est d'employer des moteurs puissants, afin de faciliter les démarrages et de permettre le maintien de la vitesse normale sur les parties les plus accidentées des voies.

Les moteurs les plus employés sont de 25 à 35 chevaux.

Si l'on veut disposer d'une puissance plus considérable, on se sert de deux moteurs, à raison d'un par essieu.

Deux moteurs peuvent être aussi nécessaires, quand la voiture doit fonctionner, non seulement comme *automobile*, mais encore comme *voiture motrice*. On accroche alors à l'automobile une ou plusieurs voitures ordinaires et l'on peut ainsi former de véritables trains.

On doit recommander d'être très large dans le choix des moteurs. Il faut, en effet, compter avec un accroissement possible du trafic (accroissement certain, d'ailleurs, quand on substitue la traction mécanique à la traction à chevaux [1]) et avec une surcharge extraordinaire, comme il peut s'en produire à certains moments (fêtes, retour de courses, sortie des ateliers, etc...).

Aux États-Unis on adopte généralement, pour une automobile d'hiver de 50 places, 2 moteurs de 25 à 30 chevaux. En été, comme la voie est meilleure et que le matériel est plus léger (voitures découvertes), on se contente souvent d'un seul moteur de 25 chevaux.

Un moteur électrique ne peut fonctionner qu'à la condition d'être réuni à une source permanente d'électricité.

Si le tramway porte avec lui une batterie d'accumulateurs, l'alimentation se fait très simplement, en réunissant le moteur et la batterie, pôle à pôle.

Mais si la source d'électricité est constituée par une ou plusieurs *dynamos* installées dans une usine fixe, comme

[1] Au Havre, le trafic a augmenté de 70 p. 100 ; à Lyon, de 43 p. 100.

c'est le cas le plus fréquent, il faut prendre des dispositions spéciales, pour que la voiture puisse communiquer, d'une façon continue, pendant sa marche, avec la source d'électricité.

A cet effet, on emploie l'une des dispositions que nous allons examiner.

Tramways avec conducteurs aériens et trolley. — Le courant produit par l'usine ou station centrale est lancé dans

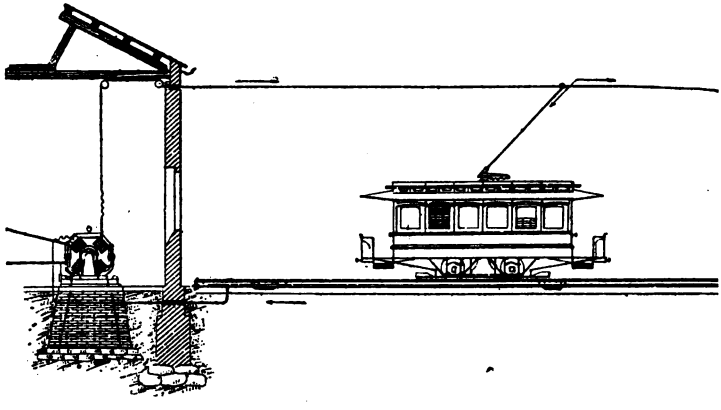


Fig. 1. — Tramway à conducteurs aériens et trolley.

un conducteur en cuivre, en bronze siliceux ou plus rarement en acier, placé au-dessus ou sur le côté des voies (fig. 1).

Sur ce conducteur roule un *trolley*, c'est-à-dire une roulette en bronze qui est fixée au bout d'un long bras métallique, monté sur le toit de la voiture [1]. Un puissant ressort

[1] Quelquefois on a remplacé la roulette par un frotteur. Nous citerons plus loin des exemples (chapitre III).

tend à ramener ce bras verticalement. Il en est empêché par le conducteur sur lequel il vient presser fortement. Par ce contact ainsi établi le courant entre dans la voiture. Il gagne le ou les moteurs par des câbles isolés et sort par les roues.

Dans le système à conducteur aérien, on prend ordinairement les rails comme conducteur de retour, pour ramener le courant à l'usine.

On s'évite ainsi un second conducteur et un second trolley [1]. Mais il faut prendre des dispositions spéciales pour assurer la continuité du circuit. Dans ce but on complète les éclissages ordinaires (qui sont exclusivement combinés pour assurer la rigidité des voies), par des *éclissages électriques*, en cuivre.

On ne saurait trop conseiller d'assurer une continuité parfaite du circuit de retour.

S'il n'en était pas ainsi, le courant électrique pourrait revenir à l'usine en suivant les conduites d'eau ou de gaz et l'on aurait à craindre (du moins avec les courants continus qui sont de beaucoup les plus employés pour la traction des tramways) de graves *actions électrolytiques*.

Les conducteurs aériens, pour qu'ils ne présentent pas un aspect trop choquant, ne doivent pas avoir un diamètre dépassant 8 à 9 millimètres.

La résistance qu'ils offrent au passage du courant est loin d'être négligeable. On sait que lorsqu'un courant électrique d'intensité I (évaluée en *ampères*) passe dans un conducteur

[1] Une ou deux lignes seulement sont à deux trolleys.

de résistance R (laquelle s'évalue en *ohms*) il se produit une perte de voltage égale à RI [1].

Pour que, sur une ligne donnée, la tension soit sensiblement constante en tous les points et, d'autre part, pour n'avoir pas à augmenter le diamètre des conducteurs aériens (car la résistance d'un conducteur décroît quand son diamètre augmente) on est conduit, dès que le courant à écouler I est considérable, à alimenter le fil aérien, de distance en distance, par des *feeders*, conducteurs de gros diamètre, qui relient directement à l'usine la section à alimenter.

Ces feeders peuvent se placer sur le côté des voies et être constitués par des câbles nus, montés sur isolateurs. Mais, dans la traversée des villes, on exige ordinairement (même aux États-Unis) qu'ils soient cachés sous la chaussée ou sous

[1] Rappelons que l'*ampère* est l'unité d'intensité d'un courant électrique. D'autre part, on appelle intensité d'un courant la quantité d'électricité qu'il transporte en une seconde.

On compare souvent l'écoulement de l'électricité à celui de l'eau. L'ampère a son analogue dans le *débit*.

Le *volt* mesure la différence de potentiel électrique entre deux corps. C'est l'équivalent de la hauteur de chute, dans le cas de l'écoulement de l'eau. Dans le langage courant, on assimile la différence de potentiel à une *tension ;* on dit la tension d'un courant et on la mesure en volts.

En multipliant la hauteur de chute, dans le cas de l'eau, par le débit, on obtient la puissance de chute.

De même, en multipliant l'intensité d'un courant par sa tension on obtient la puissance disponible dans le courant. Cette puissance se chiffre en *watts*, le watt étant le produit d'un ampère par un volt.

On sait que lorsque de l'eau circule dans un tuyau elle éprouve, par suite du frottement sur les parois, une certaine résistance a son mouvement. Les conducteurs dans lesquels circule l'électricité créent, de même, une certaine résistance au passage du courant. Cette résistance se mesure en *ohms*. L'ohm est l'unité de résistance.

Certaines substances comme le cuivre ont une résistance très faible. D'autres, comme la porcelaine et le verre, ont une résistance très considérable. C'est ce que l'on appelle des *isolants*. Pratiquement ils ne donnent passage à aucun courant.

les trottoirs. Le mieux, alors, est de les constituer par des *câbles armés et isolés*.

Quand le réseau est très chargé, des *feeders de retour* peuvent également être nécessaires. Mais, comme la tension des courants qui les parcourt n'est que de quelques volts, on peut économiser sur leur isolement. On s'est souvent

Fig. 2. — Tramway à conducteur aérien et archet.

contenté de *câbles nus*, noyés dans une masse de bitume, que retient une goulotte en bois.

Tramways avec conducteurs aériens et archet. — Ce système, qui est surtout employé en Allemagne, ne diffère du précédent que par le mode de captation du courant.

Le trolley est remplacé par un cadre métallique (fig. 2)

dont le montant supérieur appuie constamment contre le conducteur aérien. Au frottement de roulement on substitue ainsi un frottement de glissement. L'usure produite est certainement plus considérable ; mais nous indiquerons ultérieurement comment on peut atténuer les inconvénients qui en résultent.

L'avantage principal de l'archet, c'est qu'il dispense d'établir les conducteurs aériens parallèlement à l'axe des voies. Aussi, dans les courbes, peut-on substituer aux tracés sensiblement curvilignes, qui s'imposent avec le trolley, un tracé formé de longs éléments droit coïncidant avec les côtés d'un polygone inscrit ou circonscrit à la courbe. On diminue ainsi notablement le nombre des haubans tendeurs et des poteaux.

La construction des aiguillages et des croisements se trouve aussi sensiblement facilitée.

Nous verrons plus loin que ces résultats peuvent être obtenus, au moins partiellement, avec un trolley spécial, convenablement articulé (système Dickinson).

Tramways avec conducteurs souterrains. — Dans ce système les conducteurs, qui distribuent le courant, sont placés sur isolateurs, dans un caniveau construit sous la chaussée. Ce caniveau est ouvert suivant une fente longitudinale par laquelle passe la pièce qui doit amener le courant à la voiture.

Les conducteurs étant souterrains, leur diamètre importe peu. Aussi adopte-t-on, le plus souvent, par raison d'écono-

mie, des conducteurs en fer auxquels on donne des formes appropriées aux pièces qui doivent les supporter. De même, on peut profiter de l'espace disponible dans le caniveau pour y installer un conducteur de retour. Les actions électrolytiques, dues aux fuites du courant, sont alors plus facilement évitées, attendu que pour qu'elles se produisent il faut qu'il se déclare une défectuosité à la fois sur les deux conducteurs.

La prise de courant se fait soit par frottement, soit par roulement. Il faut, avec deux conducteurs, deux frotteurs ou deux trolleys. Le courant, partant du conducteur positif, ou d'aller, va par un fil isolé dans la voiture ; il traverse le moteur et par un autre fil isolé est ramené au conducteur négatif ou de retour.

Avec le caniveau souterrain il faut évidemment que la rainure soit indéformable. Il est indispensable, en outre, d'assurer une évacuation rapide de l'eau, de la neige et des produits du balayage.

Tramways à contacts superficiels. — Dans ce système, les prises de courant sont établies au niveau du sol. Mais, évidemment, il n'en peut être ainsi, qu'autant que l'on a pris des dispositions spéciales pour empêcher toute déperdition de l'électricité.

On doit aussi se préoccuper de rendre tout contact impossible entre les prises de courant, quand elles sont en charge, et les passants.

A cet effet, un conducteur électrique, ordinairement à

500 volts, est placé sous la chaussée ou sous les trottoirs. Par une série de branchements, également souterrains, il communique avec des *plots* ou des *pavés* métalliques, isolés, arasés à 1 ou 2 centimètres au-dessus du sol et placés à demeure entre les voies. Sous la voiture un long frotteur est disposé de manière à glisser sur les plots ou les pavés; sa longueur est telle que lorsqu'il quitte l'une des pièces de contact il est déjà, par son autre extrémité, sur la pièce suivante.

On conçoit que si, par un artifice quelconque, on met les plots ou les pavés en charge au moment où ils sont couverts par la voiture et à ce moment-là seulement, on satisfera à la double condition énoncée plus haut.

On arrive à ce résultat à l'aide de *distributeurs* qui sont placés sous chaussée ou sous trottoirs et qui peuvent commander un ou plusieurs contacts.

Dans ce système le courant fait retour à l'usine par les rails. Mais rien ne serait plus facile, en employant doubles plots ou doubles pavés, que d'envoyer le courant de retour dans un conducteur spécial.

On a souvent désigné les tramways à contacts superficiels sous le nom de *tramways à contacts électro-magnétiques*. C'est en effet par une action électro-magnétique que les distributeurs mettent les conducteurs en charge au moment voulu. Mais il pourrait en être autrement.

Une autre désignation moins scientifique, est celle de *tramways à plot*, laquelle s'explique d'elle-même.

Tramways à accumulateurs. — Nous avons déjà indiqué

ce système. C'est évidemment l'un des plus simples que l'on puisse imaginer. Il permet, en outre, d'appliquer la traction électrique, sans grandes dépenses d'infrastructure, aux lignes de tramways fonctionnant avec des chevaux. Si les voies sont très résistantes elles pourront même être conservées telles quelles.

Mais les accumulateurs ont certains inconvénients graves qui ont, jusqu'ici, restreint beaucoup leur emploi.

Toutefois, à la suite de progrès récents réalisés dans leur fabrication, plusieurs installations intéressantes viennent d'être effectuées.

Systèmes mixtes. — On peut, sur une même ligne, adopter telle ou telle combinaison des systèmes que nous venons d'examiner.

Ainsi, dans les villes où l'on est absolument hostile au trolley, on emploiera, pour les lignes venant de la banlieue, le fil aérien jusque dans les faubourgs et l'on marchera au delà avec des conducteurs souterrains. Il suffira de s'arrêter quelques secondes, au point de passage, pour accrocher aux voitures le frotteur ou la roulette qui doivent prendre le courant sur les conducteurs souterrains (Washington). On a même combiné des appareils qui se mettent instantanément en place, sans qu'il soit nécessaire d'arrêter la voiture (Berlin).

On pourrait également recourir dans ce cas à la traction par accumulateurs, en chargeant ceux-ci extra-muros avec le courant même de la ligne à trolley (Hanovre, Dresde, Tramways de Paris et du département de la Seine).

De même on peut, en employant simultanément le système à trolley et la traction par accumulateurs, éviter les inconvénients que présentent les conducteurs aériens sur les places, dans les courbes, etc.

Soient, par exemple, deux grandes avenues rectilignes se croisant à angle droit. On marchera en alignement droit avec des câbles aériens. Et, pour franchir le coude brusque, formé par les avenues, on se servira d'une petite batterie d'accumulateurs que l'on chargera, avec le courant même de la ligne, sur les autres parties du tracé.

On pourrait aussi, dans des cas analogues, combiner le système des conducteurs aériens avec le système des contacts superficiels.

Mais il est clair que tous les systèmes mixtes constituent une sujétion pour l'exploitation.

Partout où on le pourra, on devra faire tous ses efforts pour se limiter aux conducteurs aériens. Avec ce système il n'y a aucun aléa à craindre; c'est en outre le plus économique, à la fois, comme dépense de premier établissement et comme entretien.

Courants employés pour la traction des tramways. — a) *Courants continus.* — Les courants les plus employés pour la traction des tramways sont les *courants continus.* Leur distribution se fait à potentiel constant (de 5 à 600 volts).

Avec un courant d'intensité I (en ampères) et de tension E (en volts) la puissance disponible à chaque instant est égale

à E$\times$I (en watts). On voit que, pour une intensité donnée, elle est proportionnelle à E. Comme, d'autre part, d'après ce que nous avons vu plus haut, la perte en ligne RI ne dépend que de I (et non de E) on augmentera la puissance disponible, sans augmenter la perte en ligne, en augmentant la tension.

On ne dépasse pas ordinairement 600 volts parce qu'au delà le courant deviendrait dangereux.

La perte en ligne généralement consentie est de 10 p. 100 de la puissance disponible. Avec les conducteurs aériens généralement employés on peut, sur un réseau pas très chargé, distribuer du courant à 500 volts sur une longueur de 4 à 5 km.

A l'usine la tension de départ doit être d'environ 550 volts.

Pour un réseau plus étendu on pourrait, si l'on voulait éviter des feeders coûteux, avoir recours à une *distribution à trois fils* (Portland, États-Unis, Tramway de Grenoble à Chapareillan).

Soient deux dynamos produisant du courant à 500 volts (fig. 3). Réunissons le pôle positif de l'une au pôle négatif de l'autre (ce qu'on appelle monter les dynamos *en série*) et branchons sur le pôle commun et sur les pôles extrêmes trois conducteurs formant deux « ponts » sur lesquels on disposera des appareils utilisateurs de courant (les moteurs des voitures, par exemple). Si l'on réunit le conducteur médian (fil neutre) à la terre, les fils extrêmes seront l'un à + 500 volts et l'autre à — 500 volts, et cependant on aura

produit du courant à 2 × 500 volts = 1000 volts. On pourra donc, de cette façon, augmenter sensiblement le rayon d'action de l'usine génératrice.

Le système s'applique, sur les tramways, en prenant les rails comme fil neutre et (si la ligne est à double voie) l'un des conducteurs aériens comme fil positif à 500 volts et

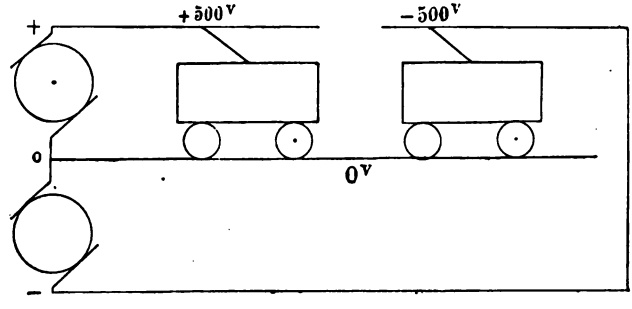


Fig. 3.
Alimentation d'une ligne de tramways par une distribution à trois fils.

l'autre comme fil négatif à — 500 volts. On pourrait aussi diviser la ligne aérienne en une série de sections consécutives, alternativement à 500 volts et à — 500 volts.

Ce dernier système doit forcément être employé si la ligne est à voie unique à moins que, pour une même voie, on veuille adopter deux conducteurs et deux trolleys.

Les distributions à trois fils présentent d'autres avantages.

Si les moteurs sont également répartis sur chacun des ponts, le courant ira seulement d'un moteur à l'autre, sans faire retour à l'usine. Or c'est le cas le plus général des lignes de tramways, où l'on rencontre presque toujours autant de voitures montantes que de voitures descendantes.

Il est clair que, dans ces conditions, le chemin suivi par le courant de retour sera bien moins considérable que s'il lui fallait, comme dans une distribution ordinaire, revenir en totalité à l'usine. Les risques de décomposition électrolytique se trouveront, de cette façon, grandement diminués.

Si les ponts sont inégalement chargés, une certaine quantité d'électricité circulera entre les points où la consommation est inégale et l'usine. Mais elle sera peu importante, puisqu'elle sera égale à la différence des quantités d'électricité circulant dans chaque pont.

Lorsque, par suite de l'éloignement de l'usine, la perte en ligne devient trop considérable et conduit à avoir aux extrémités une tension incompatible avec le bon fonctionnement des moteurs, même par l'emploi de feeders, on peut renforcer la tension, à l'origine de ces feeders, par des *survolteurs*.

Un survolteur n'est autre qu'une dynamo actionnée par un moteur électrique. Cette dynamo reçoit le courant à 500 volts, tel qu'il est produit par l'usine, et ajoute à cette tension sa propre force électromotrice. Si cette dernière est, par exemple, de 300 volts la tension du courant, à la sortie de la dynamo, sera de 800 volts. Le *survoltage* sera, dans ce cas, de 300 volts.

Ce survoltage ne peut évidemment être obtenu que grâce à une perte d'énergie, celle qui est nécessaire pour vaincre les frottements et résistances intérieures des appareils et pour faire passer la tension de 500 à 800 volts.

Si l'électricité coûte cher ce procédé sera très onéreux.

A ce propos, faisons remarquer que les exploitants doi-

vent toujours faire entrer en ligne de compte non seulement les pertes de voltage sur la ligne, mais aussi les *pertes d'énergie* qui en résultent. Ces dernières, qui se font sentir pendant toute la durée du service (souvent 20 heures sur 24), peuvent être considérables et affecter, d'une façon sensible, les résultats d'une exploitation.

Lorsque les divers procédés d'alimentation des lignes que nous venons d'examiner sont inapplicables, on a recours à un *transport de force*. Nous examinerons ce cas un peu plus loin.

b) *Courants alternatifs et polyphasés.* — Dans un courant alternatif la tension varie, à chaque instant, suivant une loi sinusoïdale. Si E est la tension maxima, T la durée d'une variation complète (ce que l'on appelle *période* du courant), la tension est représentée à chaque instant t par l'expression

$$e = \mathrm{E} \sin \frac{2\pi}{\mathrm{T}} t$$

que l'on écrit souvent

$$e = \mathrm{E} \sin \omega t$$

en posant $\omega = \frac{2\pi}{\mathrm{T}}$.

On peut représenter graphiquement un courant alternatif de deux façons.

1° On prend deux axes de coordonnées rectangulaires et l'on porte les tensions en ordonnée et les temps (mesurés en secondes) en abscisse. La courbe obtenue est alors une sinusoïde (fig. 4).

2° Considérons un cercle de rayon égal à E (fig. 5) et supposons qu'un rayon OA tourne autour du centre O avec la vitesse angulaire ω. Si nous comptons le temps à partir

de la position OX, l'angle AOX sera égal à ωt, t étant le temps mis par le rayon mobile pour tourner à l'angle AOX. Abaissons AB perpendiculaire sur le diamètre YY' perpendiculaire lui-même à OX. On aura

$$OB = E \sin \omega t.$$

Donc OB représente, à l'instant t, la valeur de la tension du courant alternatif.

Par conséquent, on obtiendra les valeurs successives de e

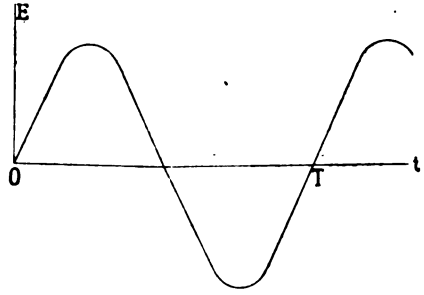


Fig. 4. — Représentation graphique d'un courant alternatif.

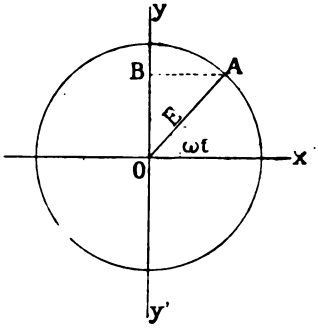


Fig. 5. — Représentation d'un courant alternatif par un vecteur.

en faisant tourner OA = E autour de O avec la vitesse angulaire ω et en projetant OA sur YY'.

C'est ce qui constitue la représentation du courant alternatif par *vecteur*.

Cette représentation est très employée, car elle permet de composer deux tensions alternatives par la méthode du parallélogramme des forces.

Ainsi, soit à ajouter deux tensions alternatives, de même

période, OA_1 OA_2 et projetons A_1 A_2 et R sur YY'. On a $OR_1 = OB_1 + OB_2$.

Donc OR est le vecteur de la tension résultante.

Dans un circuit à tension alternative l'intensité est elle-même alternative ; mais elle n'est pas en concordance de

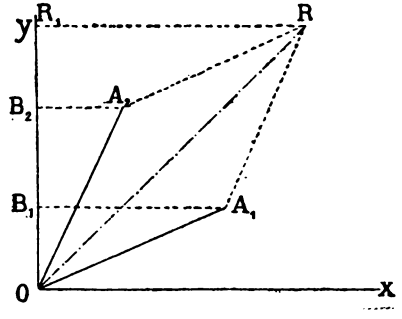


Fig. 6. — Composition des vecteurs.

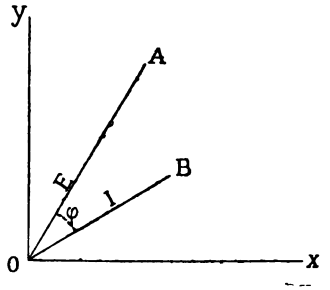


Fig. 7. — Décalage de l'intensité.

phase avec la tension. Le fait est dû à la *self-induction* du circuit. Soit I l'intensité maxima. On aura :

$$e = E \sin \omega t \qquad i = I \sin (\omega t - \varphi).$$

On peut également représenter cette intensité par un vecteur (fig. 7). On voit que ce vecteur sera en retard (ou décalé) de l'angle φ, par rapport à la tension.

Il faut distinguer, dans une distribution de courants alternatifs, les valeurs moyennes et efficaces de la tension et de l'intensité. On a :

$$\text{E moy.} = \frac{2}{\pi} E = 0{,}637\ E \qquad \text{I moy.} = \frac{2}{\pi} I = 0{,}637\ I$$

$$\text{E effic.} = \frac{E}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ E \qquad \text{I effic.} = \frac{I}{\sqrt{2}} = 0{,}707\ I.$$

Les instruments employés pour la mesure des courants alternatifs donnent généralement E effic. et I effic. Aussi sont-ce généralement ces valeurs, à l'exclusion de E et de I ou de E moy. et de I moy., que l'on considère dans une distribution à courant alternatif. Sauf indication contraire, un courant alternatif à 1 000 volts, par exemple, est un courant dont la tension efficace est de 1 000 volts.

Les intensités et les tensions efficaces peuvent se combiner par la méthode vectorielle, puisqu'ils ne diffèrent de I et de E que par des facteurs constants.

La puissance moyenne disponible sur un réseau à courant alternatif est :

$$\text{P moy.} = \frac{1}{2}\,\text{E.I}\cos\varphi = \text{E effic.} \times \text{I effic.}\cos\varphi.$$

Elle est donc moindre que s'il s'agissait d'un courant continu, puisque, dans ce cas, cette puissance serait égale à EI.

C'est déjà là une première cause d'infériorité des courants alternatifs sur les courants continus.

Ils ont en outre le défaut de se prêter moins facilement à la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique. En particulier les moteurs à courant alternatif *ne démarrent pas généralement sous charge*, vice rédhibitoire pour l'exploitation des tramways.

Mais on évite cet inconvénient en employant simultanément plusieurs courants alternatifs convenablement décalés. Ainsi, à Lugano (Suisse), la distribution se fait par *courants triphasés*, ensemble de trois courants alternatifs décalés d'un tiers de période.

Les vecteurs représentatifs sont, dans ce cas, trois droites égales OA_1, OA_2, OA_3 faisant entre elles un angle de $\frac{2\pi}{3}$ (fig. 8).

On voit que la résultante OR de OA_1 et OA_2 est égale et directement opposée à OA_3. Par conséquent, si l'on a (fig. 9) trois conducteurs A_1, A_2, A_3, dans lesquels sont lancés des courants triphasés, en réunissant les conducteurs à un même point O, on obtiendra en ce point une tension nulle et l'on n'aura pas besoin de *conducteur de retour*.

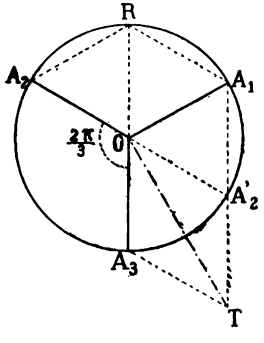


Fig. 8. — Vecteurs d'un courant triphasé.

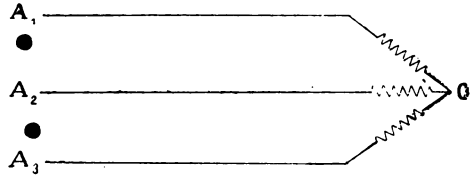


Fig. 9. — Distribution d'un courant triphasé.

Pour distribuer des courants triphasés, trois conducteurs seulement sont nécessaires. On peut prendre les rails pour l'un de ces conducteurs. Il suffira alors d'installer, au-dessus de chaque voie, deux conducteurs aériens. Dans ces conditions, il faudra également monter deux trolleys par voiture.

On peut reprocher à cette disposition d'accentuer les inconvénients des conducteurs aériens. Mais on doit remarquer que le caniveau pourrait se prêter, au besoin à l'utilisation de courants triphasés. Les rails et les deux conducteurs sou-

terrains formeraient alors les trois conducteurs nécessaires pour la distribution du courant.

On pourrait adopter une disposition analogue avec des *courants biphasés*, c'est-à-dire avec deux courants alternatifs décalés d'un quart de période. Les rails serviraient de fil de retour, car, dans ce cas, la résultante des courants n'est plus nulle.

Les courants alternatifs ne peuvent occasionner de décompositions électrolytiques[1]. Mais il faut prendre certaines précautions pour qu'ils n'influencent pas les réseaux téléphoniques ou télégraphiques, situés dans le voisinage.

On doit en outre signaler qu'à tension égale les courants alternatifs sont plus dangereux que les courants continus. A Lugano la tension employée est de 400 volts. En France dans un cas analogue on adopterait au maximum 150 volts; mais cette tension limite est trop faible.

Au sujet de cette tension nous avons une remarque à faire. Il ne s'agit pas (fig. 8) de la tension représentée par chaque vecteur. Il s'agit de la tension par rapport à la terre c'est-à-dire par rapport à l'un des conducteurs, A_3 par exemple. Pour l'obtenir il faut retrancher OA_2 ou AO_1 de OA_3. En appliquant toujours le parallélogramme des forces, nous prolongerons OA_2 en sens inverse, nous prendrons $OA'_2 = OA_1$ et la résultante sera la diagonale OT du parallélogramme $OA_3TA'_2$.

A Lugano, c'est O T qui est égal à 400 volts. Chacun

[1] Du moins avec les tensions généralement employées pour la traction des tramways.

des courants alternatifs constitutifs du courant triphasé, considéré isolément, n'a, au contraire, qu'une tension égale à $OA_1 = \frac{OT}{\sqrt{3}} = 231$ volts.

Alimentation des lignes par un transport de force. — Les transports de force s'effectuent avec des courants à haute tension. L'emploi des hautes tensions se justifie par ce que nous avons dit plus haut, relativement aux pertes en ligne.

Soit à transporter dans un fil de résistance R avec du courant à 500 volts une puissance de 500 kilowatts. L'intensité sera de 1 000 ampères, la perte de charge de R $\times$ 1 000 volts et la perte en watts, à l'extrémité de la ligne, de R $\times$ 1 000 $\times$ 1 000 watts.

Si la tension adoptée est au contraire de 5 000 volts, l'intensité ne sera plus que de 100 ampères, la perte en ligne de R $\times$ 100 volts et la perte en watts, à l'extrémité, de R $\times$ 100 $\times$ 100 watts, soit 100 fois moins que ce qu'elle était dans le cas précédent.

Dans ces dernières années on a eu tendance à augmenter de plus en plus la tension des transports de force.

On emploie maintenant couramment, dans l'industrie des tramways, des transports à 5 000 volts (Paris) et même 10 000 volts (New-York) [1].

Les transports de force peuvent s'exécuter soit avec des courants continus, soit avec des courants alternatifs simples ou polyphasés.

[1] Il s'agit de distributions locales. Si l'on voulait aller chercher le courant à grande distance on emploierait des courants de 20 à 30 000 volts.

1° *Transport de force par courant continu.* — Pour utiliser le courant transporté, on se borne, puisqu'il est continu, à abaisser sa tension.

Le transformateur se compose d'une dynamo réceptrice actionnant directement une dynamo génératrice, produisant du courant continu de 5 à 600 volts.

On se trouve réaliser ainsi une station centrale ordinaire, mais avec moteurs électriques, au lieu de moteurs à vapeur.

La dynamo réceptrice fonctionne dans ce cas à haute tension.

On peut éviter cet inconvénient, si l'on a à alimenter plusieurs stations de transformation, en montant les réceptrices en série.

Par exemple, avec cinq stations montées en série et alimentées par un courant à 2500 volts, la différence de potentiel aux bornes de chaque réceptrice ne sera plus que de 500 volts (Système Thury).

2° *Transport de force par courant alternatif.* — Le courant alternatif à haute tension passe d'abord dans des *transformateurs statiques* qui abaissent sa tension, puis dans des *commutatrices.*

Une *commutatrice* n'est autre qu'une dynamo à courant continu munie de deux collecteurs. D'un côté le collecteur est constitué par deux bagues reliées en deux points opposés de l'induit ; de l'autre c'est un collecteur ordinaire, à courant continu.

Le courant alternatif arrive par les bagues et sort par le collecteur à courant continu à la tension de 550 volts.

Pour que le courant continu sorte à cette tension il faut que le courant alternatif arrive aux bagues avec une tension déterminée. C'est ce qui explique son passage, au préalable, dans des *transformateurs statiques.*

3° *Transport de force par courants polyphasés.* — Les courants polyphasés se prêtent très bien soit à leur utilisation directe, soit à leur transformation en courants continus.

Dans le premier cas on n'aura qu'à abaisser leur tension à l'aide de *transformateurs statiques*, de manière à ne distribuer dans le réseau que des courants à 300 ou 400 volts (Lugano).

Dans le second, on prendra comme intermédiaire soit des *transformateurs tournants* (Dublin), soit des *commutatrices* (Marseille, Paris).

Le *transformateur tournant* se compose d'un moteur à courant triphasé actionnant une dynamo à courant continu. Le moteur à *courant triphasé* peut être actionné directement par le courant à haute tension, ce qui évite l'emploi de transformateurs statiques.

Une *commutatrice* pour courants polyphasés est identique à une commutatrice pour courants alternatifs. Le nombre de bagues, pour l'arrivée du courant, est seul différent.

Le choix à faire entre ces divers systèmes dépend des circonstances locales et des considérations suivantes :

1° Les courants alternatifs à haute tension se produisent plus simplement que les courants continus dont l'action sur les isolants peut être rapidement nuisible ;

2° On peut, avec des courants alternatifs, simples ou polyphasés, limiter la tension dans l'usine productrice de courant à 200 ou 300 volts et faire passer le courant, avant de le lancer dans la ligne à haute tension, dans des transformateurs statiques, appareils inertes qui élèvent la tension, sans qu'il soit besoin d'exercer sur eux une surveillance continue (Lowell, Etats-Unis) ;

3° Si l'on a adopté une distribution par courants polyphasés, l'emploi d'un transport de force par courants polyphasés de même nature s'impose également, puisque de simples transformateurs statiques permettront de passer, du courant transporté par la ligne, au courant distribué dans le réseau.

Les transports de force sont de plus en plus employés pour la traction des tramways. Ils donnent la possibilité d'utiliser, comme stations génératrices, des usines hydrauliques produisant l'énergie à très bas prix.

On peut aussi, de cette façon, alimenter avec une même usine plusieurs réseaux voisins ou de très grands réseaux, et bénéficier ainsi de l'économie que procure toujours la production en grand de l'énergie électrique.

CHAPITRE II

VOIE

Voie proprement dite. — Fondation et chaussée. — Éclissages électriques. — Rails soudés. — Joints plastiques. — Fuites de courant par les rails ; actions électrolytiques. — Rampes et courbes. — Effort de traction ; puissance.

Voie proprement dite. — Les tramways électriques exigent (comme tous les tramways à traction mécanique) des voies robustes et solidement établies.

Aux États-Unis, on avait compté, au début, conserver, sans les renforcer, les anciennes voies exploitées avec des tramways à chevaux. Mais, sous le passage de véhicules plus lourds (10 à 12 tonnes pour une voiture d'hiver à 2 moteurs) et sous l'action de vitesses dépassant parfois 30 km à l'heure, elles se sont disloquées très rapidement et l'on a dû les remplacer[1].

La largeur des voies est de 1 m (voie étroite) ou de 1,44 m (voie normale). On a surtout adopté la voie normale qui donne,

[1] Ces voies anciennes n'avaient pas seulement l'inconvénient d'être très mauvaises pour le roulement ; elles constituaient, malgré les éclissages électriques dont il sera parlé plus loin, un très mauvais conducteur pour le retour du courant et il se produisait des fuites d'électricité, se traduisant par l'attaque des conduites d'eau ou de gaz situées à proximité.

entre les faces intérieures des roues, la largeur libre que nécessitent les moteurs de tramways, du type courant. Il est d'ailleurs à remarquer que la voie étroite s'impose beaucoup moins que pour un chemin de fer d'intérêt local attendu que, même avec la voie normale, et étant donné le faible empattement des voitures, on peut accepter, comme on le verra plus loin, des courbes de très faible rayon.

Les rails, pour tramways, se font toujours en acier. Il y a intérêt, comme sur les chemins de fer, à employer des rails très longs. Non seulement le nombre des joints — lesquels sont une cause de dégradation pour la voie et pour le matériel — est ainsi diminué, mais la conductibilité électrique de la voie se trouve encore augmentée.

Il faut distinguer les voies établies sur accotement, le long des routes, et celles qui, empruntant le sol des rues, ont leurs rails noyés dans la chaussée.

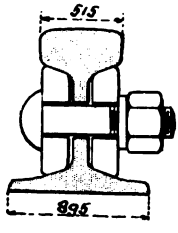


Fig. 10. — Rail Vignole de 25 kg.

Les premières doivent surtout être traitées comme une voie de chemin de fer d'intérêt local, c'est-à-dire qu'elles se composeront de *rails Vignole* ou de *rails à double champignon* posés sur traverses noyées dans du ballast.

Le rail Vignole est le plus employé (fig. 10). Son poids est de 20 ou 25 kg par mètre courant, selon l'échantillon.

L'espacement des traverses est de 80 cm ; il se réduit, de part et d'autre des joints, à 60 cm.

Les rails adoptés pour les voies établies sur chaussée varient

avec les pays. Les systèmes les plus employés sont les suivants :

1° *Rails à gorge*, — Dans ce type rentrent les rails Broca, Phœnix, Humbert, Gowans, Jonhnstones et Rankine, etc...

En France on emploie surtout le rail Broca. Le premier type, pesant 36 kg par mètre courant, a été peu à peu aban-

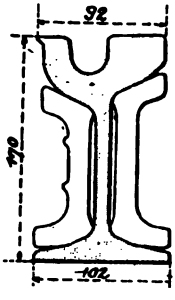


Fig. 11. — Rail Broca de 44 kg.

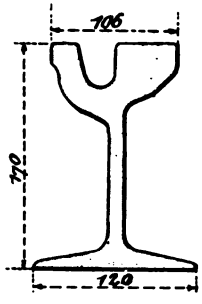


Fig. 12. — Rail poutre.

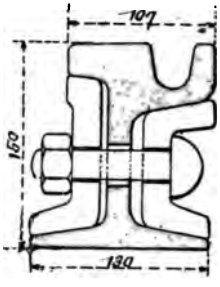


Fig. 13. — Rail Phœnix.

donné pour un type plus fort pesant 44 kg (fig. 11). Ce dernier rail présente les caractéristiques suivantes : hauteur du rail 170 mm ; largeur du patin 102 mm ; épaisseur de l'âme 11,5 mm ; largeur de table de roulement 44 mm ; ornière 28 mm/28 mm.

Dans ces derniers temps on a même trouvé le type de 44 kg insuffisant et l'on a combiné de nouveaux rails, dits *rails poutre*, dont on trouve un spécimen dans le nouveau rail de la Compagnie des Omnibus (fig. 12). Ce rail pèse 54 kg par mètre courant.

Dans le type Phœnix la tendance a été également à l'aug-

mentation de poids. Le nouveau rail des tramways de Hambourg (fig. 13) pèse, par exemple, 53 kg.

Tous les rails que nous venons de décrire, ayant un large patin, peuvent être posés sur une couche de sable sans traverses. Mais, pour maintenir leur écartement, il faut les entretoiser tous les 2 m à 2,50 m.

2° *Rails à gradin.* — Ces rails sont surtout employés aux États-Unis.

Au début, on faisait usage d'un petit échantillon (fig. 14)

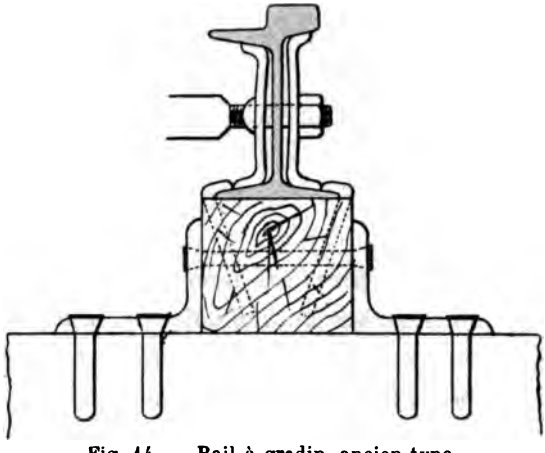


Fig. 14. — Rail à gradin, ancien type.

et, afin d'avoir entre les traverses et la table de roulement une hauteur suffisante pour pouvoir loger un pavé, on intercalait une longrine entre le rail et la traverse.

Mais la rigidité d'une telle voie laissait à désirer et l'on a combiné des rails de grande hauteur pouvant se placer direc-

tement sur les traverses. Un des types les plus employés est représenté par la figure 15.

Les rails à gradins ont l'inconvénient de produire une petite dénivellation dans le revêtement des chaussées. Aux États-Unis, où la viabilité est souvent négligée, cette saillie est généralement acceptée par les municipalités. Cependant certaines grandes villes ont demandé une modification du

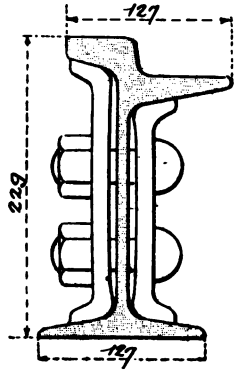


Fig. 15. — Rail à gradin nouveau type.

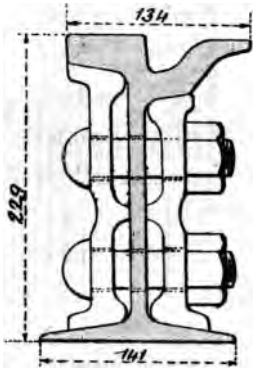


Fig. 16. — Rail américain nouveau type.

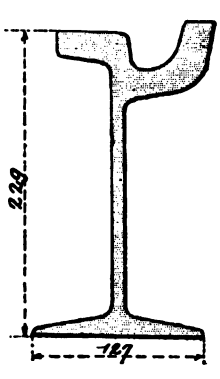


Fig. 17. — Rail américain dans les courbes.

profil usuel et l'on est arrivé à un nouveau type, qui est pour ainsi dire intermédiaire entre le rail à gradin et le rail à ornière.

La figure 16 représente l'un de ces nouveaux rails (New-York). La hauteur est de 229 mm et le poids de 53 kg par mètre courant. L'ornière est, comme on le voit, très adoucie et les roues des voitures circulant sur la chaussée ne risquent pas de s'y immobiliser. Dans les courbes et dans le but d'éviter des déraillements le bord extérieur du rail présente

une légère surélévation par rapport à la table de roulement (fig. 17).

Les rails américains ayant, comme les rails à gorge, un très large patin, pourraient être posés directement sur une couche de sable.

Mais, comme le sous-sol des rues américaines est généra-

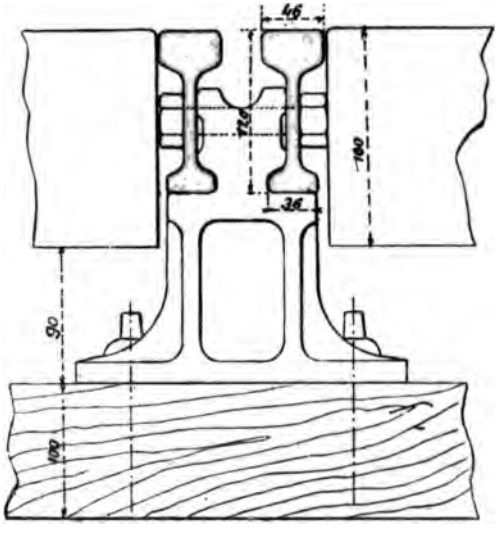


Fig. 18. — Voie Marsillon.

lement très mauvais, on les asseoit sur des traverses très rapprochées (0,50 m à 0,60 m).

3° *Rails Marsillon.* — La voie Marsillon (fig. 18) est formée de deux rails identiques de 120 mm de hauteur et dont l'écartement est maintenu par des fourrures et par des coussinets tirefonnés sur des traverses en bois. Dans les chaussées

avec fondation en béton le coussinet est supprimé et remplacé par une selle de 2 cm d'épaisseur.

Le poids est de 35 et 41 kg par mètre courant.

La voie Marsillon présente un coefficient de roulement moindre que les rails à gorge. Mais elle s'use plus vite sous le passage des voitures et elle complique un peu l'exécution des éclissages électriques.

A Paris, où elle est surtout employée, elle a tendance à disparaître.

Fondation et chaussée. — Avec un bon sous-sol une fondation n'est pas nécessaire. Mais si l'on a à craindre des tassements on établira sous les voies une fondation générale en béton de ciment. On lui donne de 15 à 20 cm d'épaisseur.

Par mesure d'économie on réduit parfois la fondation à un solin trapézoïdal de 0,35 m à 0,40 m de largeur moyenne, placé sous chaque file de rails.

Les matériaux employés pour le revêtement des chaussées varient avec les localités. Généralement les voies reçoivent un revêtement en pavés de pierre, posés sur forme de sable. La grande hauteur des nouveaux rails permet justement de placer des pavés, même de gros échantillon, entre la table de roulement et le patin du rail.

Les chaussées en bois sont toujours établies sur béton. Dans ce cas il en sera de même de la voie. Mais, comme les pavés de bois n'ont guère que 12 cm de hauteur, les rails se trouveront encastrés, sur une partie de leur hauteur, dans le béton de fondation. C'est un avantage, au point de vue de la

rigidité de la voie; mais une telle disposition rendra évidemment le renouvellement des rails très dispendieux.

Le pavé de bois a l'inconvénient de gonfler sous l'influence de l'humidité. Il tend alors à soulever les voies. Aussi on fera bien de les *cramponner*, c'est-à-dire de fixer les patins des rails par des crampons en fer, scellés dans le béton de fondation.

Une excellente chaussée pour un tramway électrique, surtout pour un tramway à retour du courant par les rails, serait constituée par une chaussée asphaltée avec fondation en béton. Malheureusement l'asphalte est un revêtement assez coûteux.

L'usage est d'imposer aux Compagnies concessionnaires l'entretien de la chaussée pour l'entrevoie et deux zones de 0,30 m à 0,50 m situées de part et d'autre des rails. Évidemment cela est très commode pour les municipalités, qui peuvent ainsi se faire payer une partie de leurs dépenses de voirie. Mais cette sorte de taxe, qui se concevait jusqu'à un certain point quand les tramways étaient remorqués par des chevaux, est absolument vexatoire avec la traction électrique.

Éclissages électriques. — Quand le courant électrique fait retour à l'usine par les rails, les éclissages ordinaires ne suffisent pas pour assurer la continuité du circuit. Il peut arriver, en effet que les boulons se desserrent ou que les contacts entre les éclisses et les rails deviennent imparfaits, par suite de l'oxydation du métal.

Aussi est-il indispensable de relier les rails entre eux

par des fils ou des rubans de cuivre d'une section suffisante pour que la perte de charge admise, du fait de la ligne, ne soit pas augmentée. A cet effet, on tiendra compte que la résistance du cuivre est environ le dixième de celle de l'acier.

Les éclissages électriques ne sont efficaces qu'autant que les contacts sont bien assurés. Aussi convient-il que les surfaces de jonction de l'acier et du cuivre soient parfaitement propres et nettes.

Nous représentons, ci-après, quelques-uns des éclissages électriques les plus employés.

a) Le joint est formé par un conducteur en cuivre serré

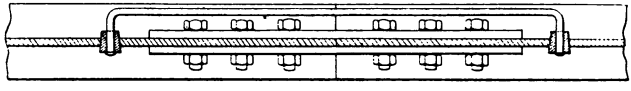


Fig. 19. — Eclissage électrique avec manchons en cuivre.

à ses deux extrémités dans des manchons coniques de même métal (fig. 19).

b) Le conducteur passe dans des bouchons en acier étamé

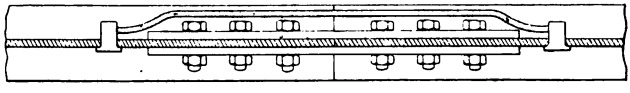


Fig. 20. — Eclissage électrique avec bouchons en cuivre.

qui sont enfoncés à frottement dur dans les rails (système de la Société Alsacienne) (fig. 20).

c) *Rail Bond Chicago.* — Excellent joint employé aux États-Unis par la General Electric Company et en Europe

par la Société Thomson-Houston. Le conducteur se termine par une tête creuse dans laquelle on enfonce un rivet conique,

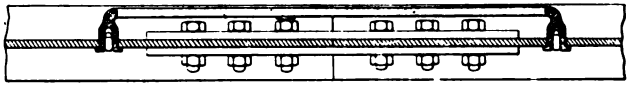


Fig. 21. — Rail Bond Chicago.

en acier (fig. 21). Le joint se double sur les lignes à grand trafic.

d) Système à boucle, formé par un fil de cuivre que l'on passe à travers les rails et dont on réunit les extrémités à l'aide d'un manchon en acier doux étamé. Le contact avec

Fig. 22. — Eclissage à boucle.

les rails est également assuré par des manchons en acier (Boston) (fig. 22).

Quel que soit le système d'éclissage adopté il faut que les tiges en cuivre qui les constituent ne soient pas absolument rigides. On leur donne toujours une certaine courbure dans le plan vertical, de manière à ce que la tige puisse supporter, sans se casser, les mouvements longitudinaux que produisent, dans les rails, les variations de la température.

Les systèmes d'éclissage précédemment décrits nécessitent une assez grande longueur de fils de cuivre, ceux-ci devant contourner les éclisses.

On peut obtenir des éclissages plus économiques en pla-

çant les fils sous les éclisses. Il suffit alors de leur donner de 15 à 20 cm de longueur. Dans ce type rentre l'éclissage Crown constitué par des fils de cuivre réunis, à leurs deux extrémités, dans des têtes de même métal. Ces têtes sont enfoncées à frottement dur dans l'âme du rail (fig. 23).

Fig. 23. — Éclissage Crown.

Des éclissages de cette nature conviennent bien également pour le cas où l'on veut placer les fils sous le patin du rail. Mais la pose est alors plus compliquée.

Les éclissages électriques ont pour but de transformer chaque file de rails en un conducteur continu. Mais il faut prévoir le cas où une éclisse viendrait à être coupée. On obviera à cet inconvénient en reliant chaque file de rails tous les 50 mètres environ par des fils de cuivre. Ces fils se terminent par des têtes que l'on enfonce dans l'âme des rails par le procédé employé pour les éclisses de joint.

Lorsque la densité du courant de retour est trop forte ou si la perte de tension dans la voie dépasse la limite autorisée par les règlements, on doit soulager les rails par des *feeders de retour*. Ce sont des câbles en cuivre, reliant directement les rails à l'usine. Ils doivent être calculés avec autant de soin que les *feeders d'aller;* mais leur isolement peut être beaucoup moindre, en raison de la faible tension qu'ils ont à supporter.

Joints plastiques. — Ces joints sont d'origine américaine.

Le système consiste à intercaler entre les éclisses ordinaires et les rails une substance plastique, ne s'oxydant pas et assurant toujours un bon contact entre les rails et les éclisses

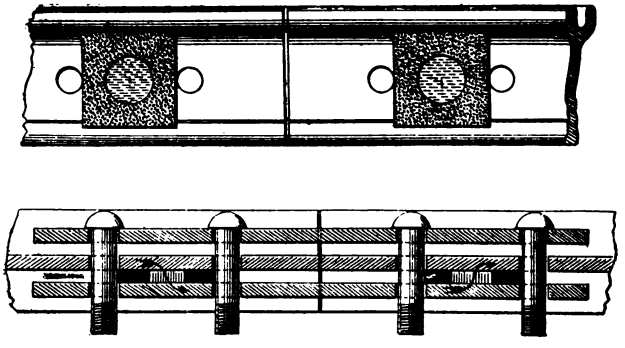


Fig. 24. — Joint Edison Brown.

(*Plastic rail bond*). On a soin, au préalable, de décaper à vif les surfaces d'application. Lorsque les rails se dilatent ou se contractent, ils glissent sur le joint, mais sans perdre leur contact avec le métal plastique et par suite avec les éclisses.

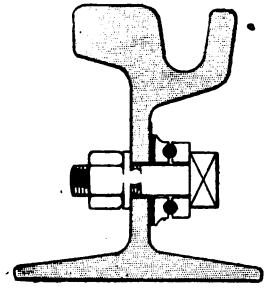


Fig. 25. — Joint Bryan.

Le *joint Edison-Brown* se compose de petites couronnes en liège pressées par l'éclisse contre le rail et dans la partie centrale desquelles on met un alliage à base de mercure (fig. 24).

Le *système Bryan* (fig. 25) est un système mixte. L'alliage n'intervient que pour établir un bon contact entre les rails et une paire de rondelles qu'un boulon presse contre l'âme du rail. Entre

les deux rondelles sont maintenus fortement les gros fils de cuivre formant éclissage électrique.

Rails soudés. — La continuité du circuit de retour peut également être obtenue, sans éclissages électriques, en soudant les rails bout à bout. Mais il est clair qu'une telle opération n'est praticable qu'autant que la voie peut résister, sans se déformer, aux allongements et raccourcissements que produisent l'élévation ou l'abaissement de la température.

Avec des rails noyés dans les chaussées, la limite d'élasticité du métal n'est généralement pas atteinte, même pour des variations de 40 à 45°. D'autre part, les rails étant fortement maintenus par les traverses ou par le revêtement de la chaussée, les actions thermiques ne peuvent s'additionner sur toute la longueur de la voie.

C'est ce qui explique pourquoi le procédé a pu réussir dans certaines villes américaines (Saint-Louis, Portland).

Il est évidemment indiqué de souder, dans ce cas, les rails à l'aide de l'électricité, en se servant du courant même de la ligne. On doit, toutefois, lui faire subir une transformation, afin d'augmenter la chaleur produite. Cette transformation consiste à abaisser sa tension, de manière à avoir, par exemple, au lieu d'un courant de 40 ampères à 500 volts, un courant de 5 000 ampères à 4 volts. La chaleur dégagée par l'appareil soudeur (laquelle croît comme le carré de l'intensité et ne dépend nullement de la tension) est alors beaucoup plus considérable.

La *Société Johnson*, qui s'est fait une spécialité de la soudure des rails par l'électricité, emploie justement une tension finale de 4 volts. L'opération se fait de la façon suivante : on rapproche les rails bout à bout et on place de part et d'autre du joint, des cales de même métal que les rails. On

Fig. 16. — Joint Falk avant soudure.

prend le tout dans une mâchoire portée sur la machine à souder et, après avoir serré énergiquement, on fait passer le courant. L'acier fond très rapidement et remplit les joints. Les cales restent et maintiennent le joint transversalement. On exécute ainsi facilement 50 joints par journée de dix heures. L'appareil soudeur, le transformateur et le reste du matériel sont transportés par un wagon muni de moteurs électriques et prenant son courant sur la ligne aérienne par un trolley.

La *Falk Manufacturing Company* emploie un autre pro-

cédé. Après avoir bien nettoyé les abouts des rails à souder elle les entoure d'un moule en fonte, en deux parties, et dont la surface intérieure est garnie d'un mélange d'huile et de plombagine. Pour empêcher le soulèvement des rails au moment où le joint sera confectionné, une presse maintient

Fig. 27. — Joint Falk, le moule enlevé.

les deux rails dans le prolongement exact l'un de l'autre.

La soudure est obtenue à l'aide de fonte en fusion qui est fournie par un cubilot que l'on amène à pied d'œuvre. Ce cubilot, ainsi qu'une soufflerie à vapeur qui l'actionne, sont montés sur roue et traînés par un cheval.

On peut couler de 40 à 50 joints à l'heure. Chaque joint consomme de 60 à 80 kilogrammes de fonte.

On a appliqué le système Falk, aux État-Unis sur environ 5 000 kilomètres de voies. En France nous citerons, comme ayant été muni de joints Falk, le réseau de Lyon.

Il est à remarquer que les joints soudés n'ont pas comme seul effet d'améliorer la conductibilité électrique de la voie. Ils diminuent l'usure du matériel roulant et augmentent la durée des rails, en supprimant les martelages qui se produisent aux abouts, avec les joints ordinaires.

Fuites de courant par les rails ; actions électrolytiques. — Lorsque, par suite de la mauvaise conductibilité de la voie, le courant fuit par les rails, il a tendance, pour revenir à l'usine, à passer par les conduites d'eau et de gaz, lesquelles en raison de leur continuité et de leur nature, constituent des conducteurs très peu résistants.

L'électricité, en passant des rails aux conduites et des conduites à l'usine ou aux rails situés dans le voisinage de l'usine, décompose les sels contenus dans le sol. Une oxydation plus ou moins énergique se produit aux *anodes* (points de sortie du courant). Par conséquent les conduites courent le risque d'être détériorées surtout dans le voisinage de l'usine, puisque c'est là où le courant les abandonne.

Pour que ces actions électrolytiques se produisent, il n'est pas indispensable que la conductibilité de la voie soit défectueuse. Il suffit, comme l'a démontré M. Potier[1], qu'entre les extrémités des rails il existe une différence de potentiel dépassant 5 volts[2]. Dans ce cas, un *courant dérivé* prend

[1] Société Internationale des Électriciens. Mai 1896.

[2] Ce chiffre se justifie par ce fait que, pour sortir des rails, traverser le sol, suivre les conduites et regagner les rails, le courant a à vaincre : 1° deux fois la force contre-électromotrice de polarisation du sol, soit 2×2 volts $= 4$ volts ; 2° la résistance du sol (en supposant celle des conduites négligeable) qui peut être inférieure à un volt.

naissance et se porte naturellement sur les conduites voisines.

Pour éviter ou atténuer ces actions électrolytiques on peut :

1° Relier le pôle négatif des dynamos aux conduites situées près de l'usine ou aux conduites plus éloignées que, par suite d'interruptions, le courant doit abandonner;

2° Réduire à 5 volts, au plus, la différence de potentiel existant entre les extrémités des rails, par la pose de feeders de retour convenablement distribués[1]. En général, ces feeders ne seront indispensables que lorsque la longueur de la ligne dépassera 4 à 5 km. Ils devront être calculés, comme on l'a dit précédemment, avec autant de soin que les feeders d'aller ; mais ils pourront être moins bien isolés en raison de la faible tension du courant à écouler.

Le calcul de ces feeders de retour consiste à proportionner leur section au débit à écouler, de telle façon que les points d'aboutissement aux rails des divers feeders soient au même potentiel.

Si, par suite de la disposition du réseau, les feeders ont des longueurs très inégales, on évitera, sur les feeders les plus longs une grosse dépense de cuivre, en employant des *dévolteurs*.

Un dévolteur est l'inverse d'un survolteur. Il consiste comme lui, en une dynamo actionnée par un moteur; mais il crée une différence de potentiel négative et, à cet effet, on relie le pôle positif de la dynamo à la barre négative du tableau de l'usine et le pôle négatif au feeder.

[1] En Angleterre, on accepte 7 volts. Voir chap. XII, la règle, pour la France, dite du *volt kilométrique*.

3° Employer le système à 3 fils (voir ch. Ier,) système qui permettra, en outre, d'alimenter une longueur de voie supérieure à 5 km, car on distribuera en réalité à 1 000 volts;

4° Adopter des courants polyphasés ou poser une ligne spéciale pour le retour du courant. Deux trolleys ou deux frotteurs seront alors nécessaires.

On voit, somme toute, que l'on peut assez facilement se mettre, dans tous les cas, à l'abri des décompositions électrolytiques. Celles-ci se sont surtout produites au début de l'industrie, alors que l'on n'apportait pas un soin suffisant à l'établissement des éclissages électriques. Mais, en fait, dans les installations nouvelles, elles sont beaucoup moins nombreuses qu'on ne le croit généralement. Il résulte, d'ailleurs, de la communication de M. Potier, qu'elles sont en réalité peu à craindre sur des réseaux de faible étendue et pas trop chargés.

Rampes et courbes. — Un moteur électrique peut, comme nous le verrons plus loin, développer passagèrement une puissance bien supérieure à sa puissance normale de route. Cette élasticité permet aux tramways électriques d'aborder des rampes atteignant jusqu'à 10 et 11 cm par mètre [1].

Au delà, l'adhérence serait insuffisante et il faudrait en-

[1] On peut citer, comme rampes très élevées gravies par des tramways électriques les suivantes :

Amsterdam (États-Unis).	13,5 cm	par mètre.
Glens Falls.	12,5	—
Nashville.	11,0	—
Remscheid.	10,6	—
Kiew	10,5	—
Belgrade.	10,0	—

grener les moteurs non avec les essieux, mais avec une crémaillère, comme au Mont-Salève.

On pourrait aussi appliquer les procédés d'adhérence magnétique préconisés par M. de Bovet.

Lorsqu'un tramway descend une pente accentuée on peut non seulement arrêter le courant, mais encore profiter du mouvement de rotation des moteurs pour produire de l'électricité. Les moteurs travaillent alors comme des dynamos génératrices et l'on récupère ainsi, aux descentes, une partie de l'énergie consommée aux montées.

On a pu, en procédant de la sorte, réaliser sur certaines lignes, principalement sur des lignes à accumulateurs, des économies de traction assez marquées. Il faut cependant, pour obtenir ce résultat, que les moteurs soient enroulés d'une façon spéciale.

Les courbes limites à adopter dépendent surtout du matériel roulant. On n'emploie que très rarement des rayons inférieurs à 15 m.

Afin de permettre le passage du matériel dans les courbes on monte souvent les voitures sur des *bogies*. On a employé également des essieux radiants et convergents. Le matériel à essieux rigides convient mieux à une exploitation économique, à la condition, toutefois, que l'inscription des voitures dans les courbes puisse se faire sans trop de fatigue pour le matériel.

On facilitera cette inscription en donnant du *devers* aux voies dans les parties en accotement et en élargissant la gorge des rails, là où il est fait usage de rails à ornières.

Effort de traction ; puissance. — La résistance à la traction varie avec l'état de propreté de la voie et la forme des rails. A ce dernier point de vue les rails à gorge et à gradin sont un peu moins avantageux que les rails Marsillon.

On doit aussi, quand les voitures sont susceptibles d'atteindre une grande vitesse, tenir compte de la résistance de l'air. Mais, avec les vitesses généralement observées en Europe, on peut se contenter de coefficients moyens.

Nous engloberons dans ces coefficients moyens la résistance spéciale provenant des courbes. Leur influence sur l'ensemble de l'exploitation, sauf exceptions, n'est pas en effet très sensible, d'autant plus que, dans la plupart des cas, on ne les aborde qu'après avoir réduit notablement la vitesse.

En *palier*, la résistance moyenne à la traction est de 7 à 8 kg par tonne, pour une voie sur accotement, et de 13 à 14 kg par tonne, pour une voie avec rails noyés dans les chaussées.

Dans les *rampes*, on doit ajouter 10 kg par tonne et par chaque centimètre pour mètre de rampe.

Un tramway doit pouvoir démarrer très rapidement. Les tramways électriques, dont les moteurs jouissent de la remarquable propriété de développer justement au démarrage un effort maximum, offrent, à ce point de vue, des avantages tout à fait précieux (voir ch. VIII).

L'effort supplémentaire à réaliser par tonne remorquée, pour le *démarrage*, peut se calculer rapidement, en kilogrammes, par la formule $102\frac{V}{t}$, t étant la durée du démar-

rage en secondes et V la vitesse normale de route, en mètres par seconde[1].

Avec les moteurs ordinairement employés un tramway électrique démarre facilement en quelques secondes, même sur une rampe prononcée.

Lorsque l'on forme des trains composés d'une voiture automobile et d'une ou plusieurs voitures remorquées, il faut que l'effort de traction soit inférieur à l'adhérence. Celle-ci varie beaucoup avec l'état de la voie (sec, boueux, humide, etc.). Elle est en moyenne de 1/7 du poids adhérent (150 kg par tonne de poids adhérent, en chiffre rond).

On augmente l'adhérence lorsque, par suite de l'état de la voie, elle faiblit, en sablant les rails. Le sable servant pour cet objet est projeté d'une *sablière*, fixée sur la voiture. Il est indispensable, en matière de tramways électriques, que les voitures soient munies de bonnes sablières. Non seulement elles interviendront fréquemment pour accélérer le démarrage; mais en s'en servant au moment des freinages elles permettront, quand cela sera nécessaire, d'arrêter la voiture très brusquement.

La *puissance* de traction s'obtient, en chevaux, en multipliant l'effort de traction (en kg) par la vitesse (en mètres par seconde) et en divisant par 75.

Une voiture de 50 places, pesant en charge 10 tonnes, absorbe, en palier, à la vitesse de 12 à 15 km à l'heure mesurés aux bornes des moteurs, de 5 000 à 6 000 watts

[1] Ces vitesses sont 2,22 — 2,50 — 4,17 — 5,55 — 6,95 — 8,33, pour des vitesses, en kilomètres à l'heure, de 8, 10, 15, 20, 25 et 30.

c'est-à-dire de 6 à 8 chevaux. Mais, au démarrage et sur les rampes, la puissance absorbée est beaucoup plus considérable (souvent 7 à 8 fois plus). Aussi adopte-t-on, comme nous l'avons déjà dit, 2 moteurs de 25 chevaux pour les grandes voitures de 50 places et 1 moteur de 25 chevaux pour les voitures de petit modèle. Si la voiture pèse plus de 10 tonnes, ce qui n'est pas rare, on remplacera avantageusement les moteurs de 25 chevaux par des moteurs de 30 à 35 chevaux.

CHAPITRE III

TRAMWAYS AVEC CONDUCTEURS AÉRIENS

Conducteurs aériens. — Suspension des fils conducteurs : *a*) Suspension par haubans et poteaux ; *b*) Suspension par haubans et agrafes ; *c*) Suspension par poteaux-consoles. — Prise de courant : *a*) Navette ; *b*) Trolley ; *c*) Trolley à frotteur ; *d*) Archet. — Aiguillages et croisements. — Distribution à trois fils. — Distribution par courants polyphasés. — Protection des lignes.

Conducteurs aériens. — Au début, les conducteurs aériens étaient formés par des tubes en cuivre, fendus suivant une génératrice et dans lesquels circulait une navette reliée à la voiture d'abord par une corde, qui la tirait en même temps que le tramway se déplaçait, puis en outre par un fil de cuivre isolé qui amenait le courant aux moteurs.

C'est ainsi qu'a fonctionné le petit tramway installé en 1881, à Paris, à l'occasion de l'Exposition d'électricité, entre la place de la Concorde et le palais de l'Industrie. C'est d'ailleurs encore par ce système que se fait la distribution du courant sur le tramway de Clermont-Ferrand à Royat et sur celui de Vevey à Chillon (Suisse).

Mais ces conducteurs tubulaires, d'aspect disgracieux, ont été rapidement abandonnés et l'on s'est attaché, au con-

traire, à n'employer que des fils pleins, de section aussi réduite que possible[1].

Les conducteurs aériens actuellement en usage sont en cuivre étiré, ou en bronze siliceux, ou plus rarement en acier. Leur diamètre ne dépasse pas ordinairement 8 à 9 mm. On les tend soit au-dessus, soit sur le côté des voies. Pour diminuer leur flèche (0,40 m au plus) tout en ne les soumettant pas à un effort de tension exagéré, on les soutient en alignement droit tous les 35 à 40 m. Leur hauteur au-dessus du sol est d'environ 7 m. Les fils sont généralement amenés à pied d'œuvre par longueurs de 700 à 800 m. Pour les réunir bout à bout on emploie des manchons dans lesquels on engage les extrémités des deux fils à jonctionner et que l'on remplit de soudure. On peut aussi adopter des manchons tendeurs qui servent également pour racheter les inégalités de longueur qui se produisent dans les conducteurs, sous l'influence des variations de la température. Enfin certains constructeurs préfèrent perdre une certaine longueur de fil et se servir des pièces de support elles-mêmes pour établir les joints.

Suivant l'importance du trafic, les conducteurs sont ou directement alimentés par l'usine génératrice, ou divisés en sections reliées à cette usine par des *feeders*[2]. Ces feeders

[1] Exceptionnellement on s'est servi de conducteurs pleins en forme de huit (Nantasket-Beach).

[2] Ces sections n'ont pas besoin d'être isolées les unes des autres. Il est au contraire préférable de les jonctionner entre elles, de telle façon qu'elles puissent, au besoin, se secourir mutuellement. C'est ainsi que l'on procède sur les réseaux d'éclairage.

sont généralement souterrains. Mais on peut les constituer plus économiquement par des câbles ou des fils de trolley montés directement sur les poteaux de la ligne.

La perte de charge consentie en ligne ne dépasse pas ordinairement 10 p. 100 de la tension de distribution.

Suspension des fils conducteurs. — a). *Suspension par haubans et poteaux.* Dans ce système, la ligne aérienne est

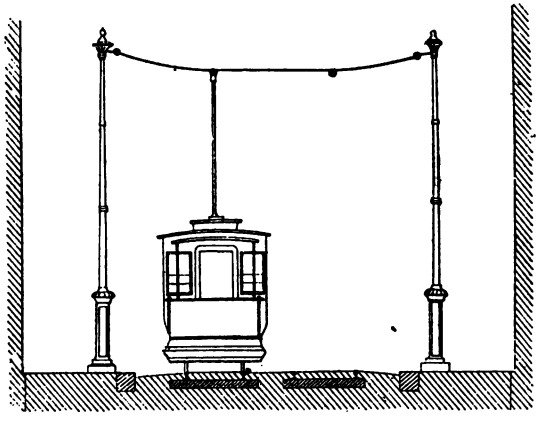


Fig. 28. — Suspension par haubans et poteaux.

soutenue par des fils transversaux (haubans) qui sont accrochés à des poteaux placés sur trottoir, de part et d'autre de la chaussée. Les poteaux se font soit en bois (surtout aux États-Unis), soit en fer ou en acier. Comme poteaux métalliques on emploie principalement en Europe des poteaux tubulaires plus ou moins ornementés, ayant une hauteur au-dessus du sol de 7 m à 7,5 m et s'enfonçant de 1,5 m à 1,8 m

dans une fondation en béton. Les poteaux en treillis coûtent moins cher, mais sont moins décoratifs.

Les haubans sont en fil d'acier galvanisé et ont de 5 à 6 mm

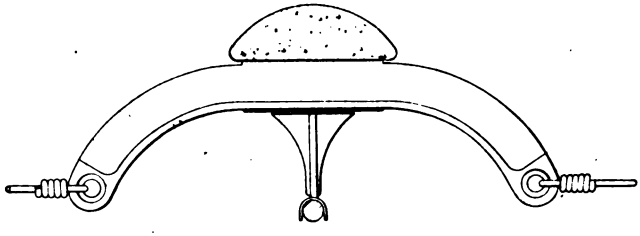


Fig. 29. — Isolateur pour la suspension du conducteur aérien.

de diamètre. D'une part ils sont accrochés aux poteaux par des colliers munis de tendeurs et, d'autre part, ils soutiennent les conducteurs par des isolateurs de forme diverse (fig. 29).

Presque toujours on donne à la ligne un double isolement pour le cas, par exemple, où un fil métallique (un fil de

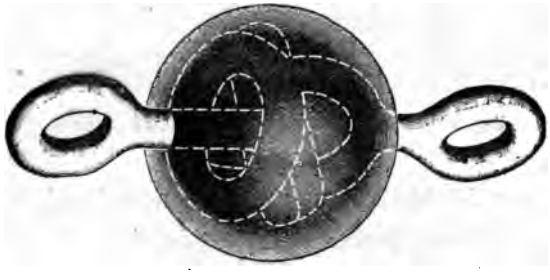


Fig. 30. — Isolateur pour hauban tendeur.

télégraphe, de téléphone etc...) viendrait à tomber sur la ligne et mettre en contact les conducteurs aériens et les haubans tendeurs ou encore pour le cas où un isolateur de sus-

pension viendrait à se casser ou à brûler. Les isolateurs supplémentaires se placent alors au départ des haubans, près des tendeurs. Ils sont en forme de boules (fig. 30), de

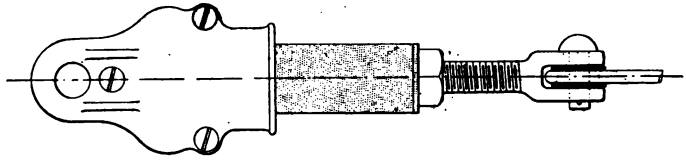


Fig. 31. — Isolateur tendeur.

cylindres, etc... On peut ainsi combiner des isolateurs-tendeurs (fig. 31).

En alignement droit les poteaux sont placés tous les 35 à 40 m.

Dans les courbes ils doivent être beaucoup plus rapprochés. Mais rien n'empêche de se servir d'un même poteau C

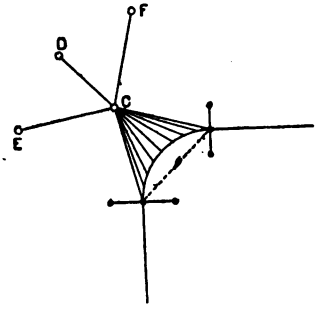


Fig. 32. — Suspension en courbe.

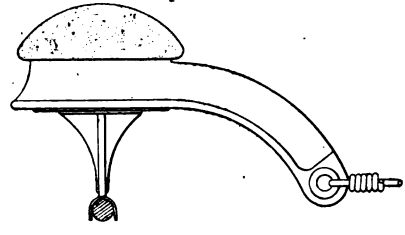


Fig. 33. — Isolateur en courbe.

pour tendre plusieurs haubans (fig. 32). Dans ce cas, les isolateurs de ligne, qui ne sont tirés que d'un seul côté, ont a forme représen tée par la figure 33.

Lorsque la disposition des lieux ne se prête pas à l'établissement du poteau de courbe C, on le remplace par une couronne que l'on tend à l'aide de poteaux E, D, F convenablement placés (fig 32).

b) *Suspension par haubans et agrafes.* — Quand les trottoirs sont trop étroits pour que l'on puisse y placer les

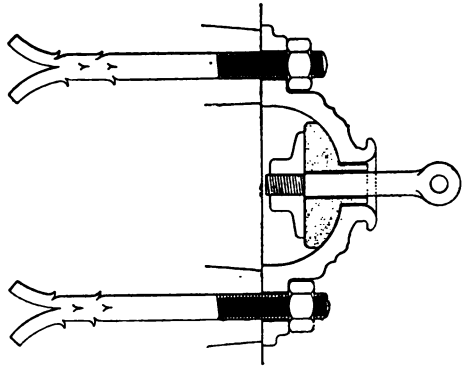


Fig. 34. — Agrafe pour hauban tendeur.

poteaux, on scelle dans les façades des maisons des agrafes analogues à celle que représente la figure 34. Mais il faut se préoccuper, dans ce cas, d'amortir les vibrations que produit le trolley et qui pourraient gêner les habitants. On place alors, dans l'intérieur de l'agrafe, un tampon en caoutchouc, qui agit en même temps comme isolateur.

Pour monter la ligne on établit deux agrafes en face l'une de l'autre (fig. 35) et l'on emploie des haubans analogues à ceux qui servent pour les poteaux.

Cette solution est évidemment très économique, mais on

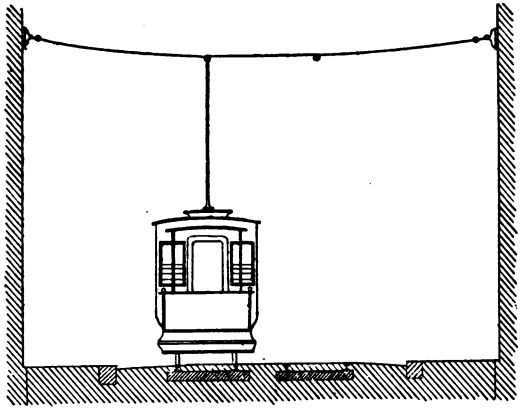


Fig. 35. — Suspension par haubans et agrafes.

ne peut la réaliser qu'autant que l'on a obtenu l'assentiment des propriétaires riverains.

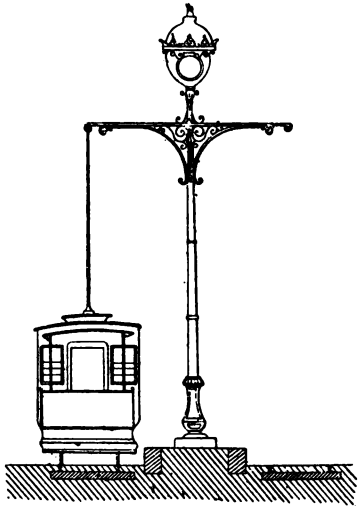


Fig. 36. — Suspension par poteau, avec double console.

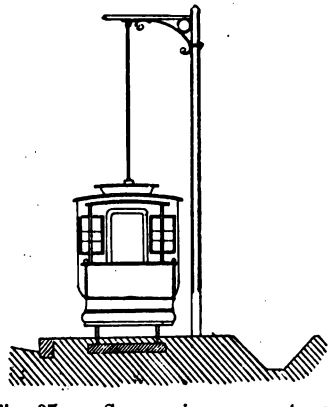


Fig. 37. — Suspension par poteau, avec simple console.

c) *Suspension par poteaux-consoles.* — Dans ce cas il n'y

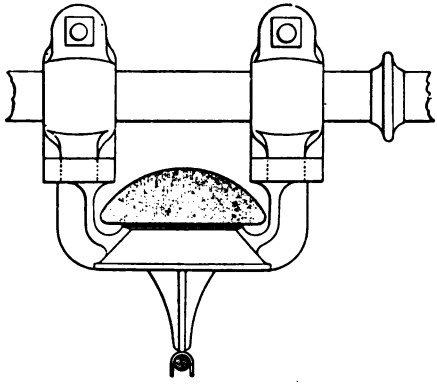


Fig. 38. — Isolateur pour console, vu de face.

a plus besoin de haubans tendeurs. Si la voie est large, les poteaux se placeront sur refuge (fig. 36) et on pourra les

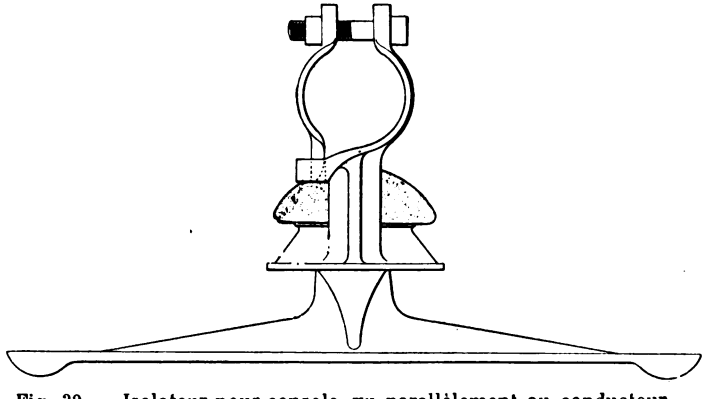


Fig. 39. — Isolateur pour console, vu parallèlement au conducteur.

utiliser pour l'éclairage en installant une lampe à arc au sommet.

Si les voies sont sur accotement ou longent un trottoir, on adoptera une console à un seul bras, plus ou moins longue (fig. 37), suivant que la ligne sera à simple ou double voie.

Il faut, pour fixer les conducteurs aériens aux consoles, des isolateurs spéciaux. Les figures 38 et 39 montrent un isolateur qui se fixe par des colliers de serrage sur le bras de la console.

La *Société Alsacienne* évite cette sujétion, en employant des consoles analogues à celle que représente la figure 40. On voit qu'avec ces dispositions le fil conducteur est soutenu comme dans le cas d'une suspension

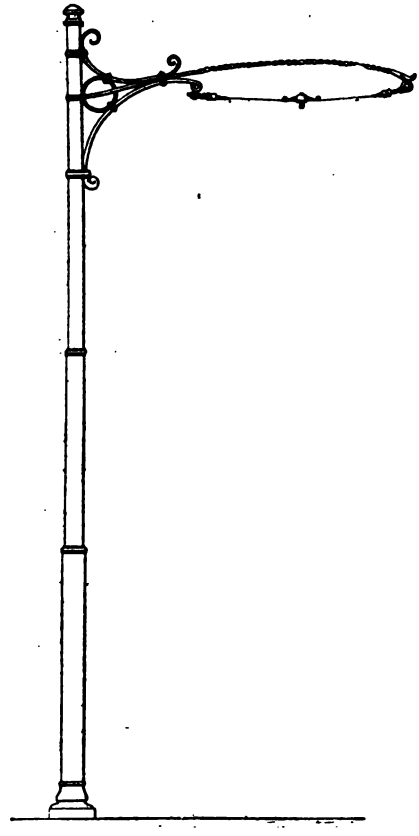


Fig. 40. — Suspension par console avec isolateur ordinaire.

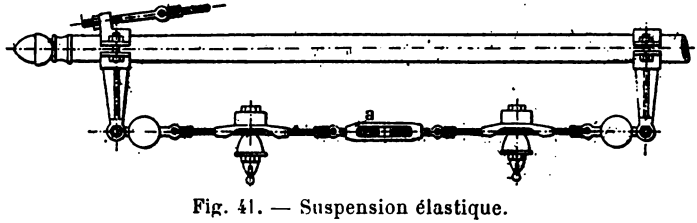


Fig. 41. — Suspension élastique.

par poteaux ou par agrafe. En outre, la prise du courant se fait au passage des consoles, par des mouvements plus doux. La figure 41 montre un autre exemple de cette *suspension élastique*. Nous représentons également, figure 42, un candélabre à double console et suspension élastique.

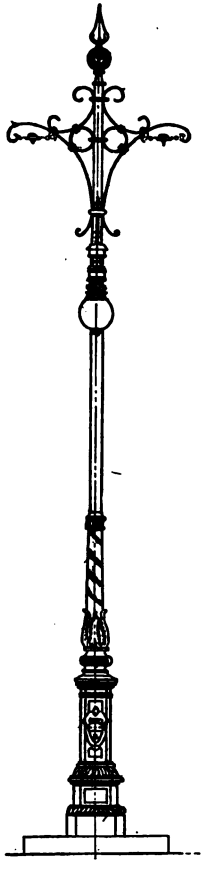


Fig. 42. — Poteau à double console avec suspension élastique.

Prise de courant. — a). *Navette*. — Ce système s'emploie avec des conducteurs tubulaires. (Ligne de Clermont-Ferrand à Royat. Ligne de Vevey à Chillon, etc.)

b). *Trolley*. — Le trolley est, comme nous avons déjà eu l'occasion de le dire, une roulette en bronze (fig. 43) fixée à l'extrémité d'une perche métallique montée sur le toit de la voiture [1]. De puissants ressorts tendent à ramener la perche verticalement. Celle-ci en est empêchée par le fil aérien contre lequel elle presse énergiquement.

La figure 44 montre le système employé par la Société Thomson-Houston. L'appareil est mobile autour d'un axe

[1] Dans la pratique on confond sous le nom de *trolley* non seulement la roulette de contact, mais aussi bien la perche et le support à ressorts.

vertical, ce qui permet son retournement lorsque le tramway est arrivé à l'extrémité de la ligne. Le trolley peut aussi se déplacer latéralement, mais il ne peut le faire que dans un angle assez faible, sous peine d'abandonner les conducteurs.

Fig. 43. — Roulette de trolley.

L'ensemble de l'appareil est monté sur un plateau en bois. Le courant passe de la roulette dans la perche par l'axe de rotation du trolley.

La Société Fives-Lille préfère recueillir le courant qui

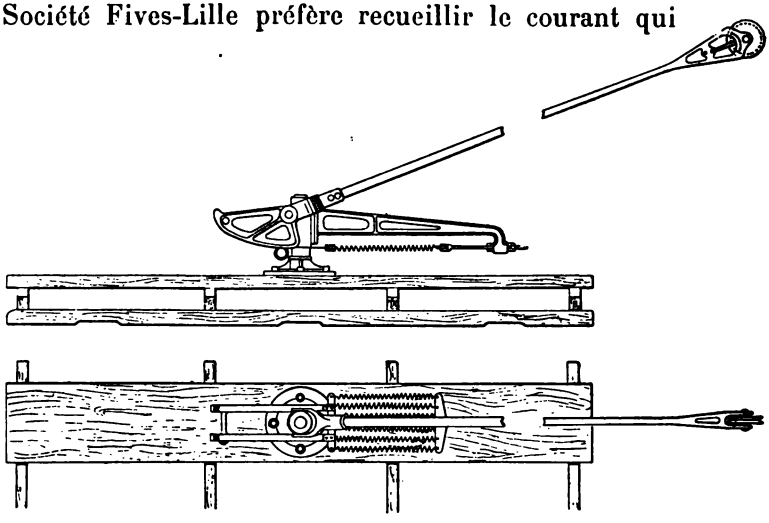


Fig. 44. — Trolley. Élévation et plan.

s'échappe de la roulette par un contact spécial (fig. 45). Ce contact est en charbon et est pressé par un ressort contre le trolley.

Avec le mode de montage précédemment indiqué, les conducteurs aériens doivent être sensiblement placés dans l'axe même des voies. Si l'on veut que ceux-ci n'empiètent pas sur la chaussée, il faut employer le *trolley Dickinson* ou *trolley latéral* qui permet de placer les conducteurs à quelques mètres en dehors des voies. Ce système est surtout avantageux dans les rues plantées d'arbres, car les conducteurs peuvent alors être tendus à peu près dans la ligne des plantations, et, dans cette situation, ils sont à peine visibles.

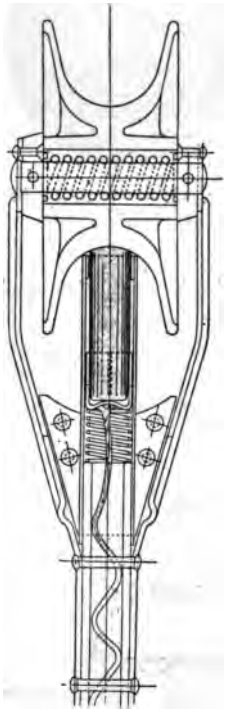


Fig. 45. — Trolley avec contact en charbon.

Le *trolley Dickinson* se compose d'une roulette qui peut tourner autour d'un axe perpendiculaire à son axe de rotation (fig. 47). Le bras qui la supporte (fig. 46) et qui tend à se soulever verticalement est susceptible, comme un bras de trolley ordinaire, de se déplacer dans le plan vertical et dans le plan horizontal. Tous ces mouvements permettent à la roulette de maintenir son contact avec les conducteurs, non seulement quand ils sont extérieurs à la voie, mais encore quand ils s'élèvent ou s'abaissent, ou encore quand leur distance à l'axe de la voie varie. Aussi peut-on substituer aux courbes un polygone inscrit, à côtés très allongés, ce qui constitue un grand avantage, attendu que les conducteurs aériens, géné-

ralement très admissibles dans les alignements droits, sont au contraire d'un aspect assez choquant dans les courbes.

L'axe vertical autour duquel tourne le bras du trolley est ici très élevé. C'est qu'il a été surtout combiné pour des voi-

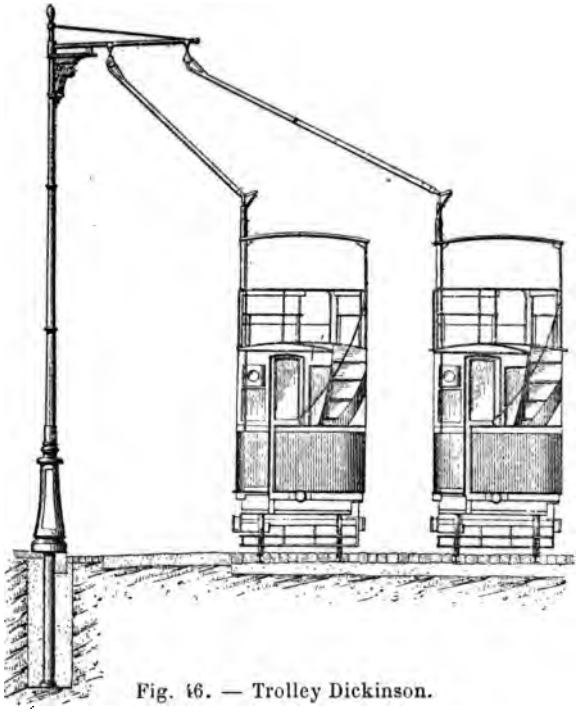


Fig. 46. — Trolley Dickinson.

tures à impériale. Pour des voitures ordinaires il est beaucoup moins haut.

L'emploi du trolley Dickinson s'est beaucoup répandu, dans ces derniers temps.

Comme variétés de ce système nous indiquerons les trol-

leys Blackwell, Bisson-Bergès, Gœnaga, etc... Ils ne diffè-

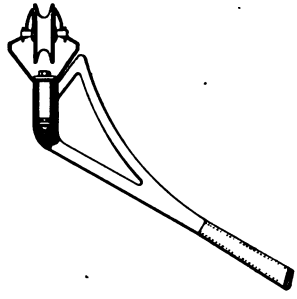


Fig. 47. — Tête de trolley Dickinson.

rent du trolley Dickinson que par des détails de construction.

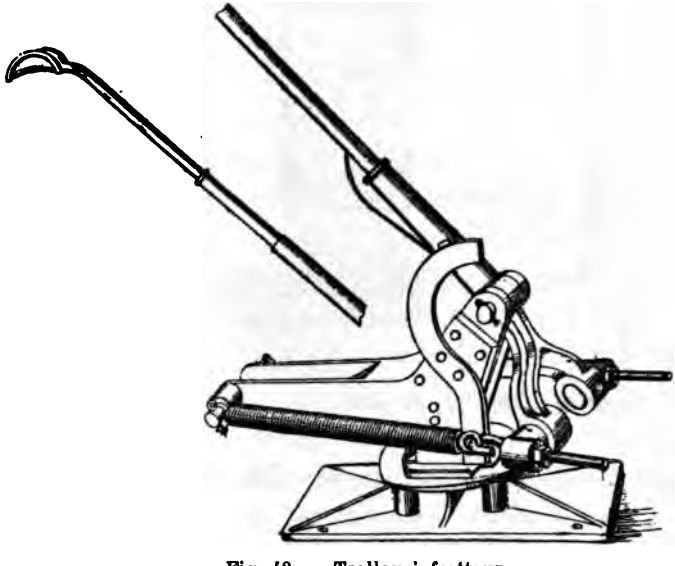


Fig. 48. — Trolley à frotteur.

c) *Trolley à frotteur.* — Nous ne citons ce système que

pour mémoire. Il a été appliqué à Richemond (États-Unis) par M. Short. C'est un trolley ordinaire dont la roulette a été remplacée par une sorte de spatule garnie de graphite (fig. 48).

Sur la petite ligne de Stansstad à Stans, la Compagnie de l'Industrie électrique de Genève a également installé des

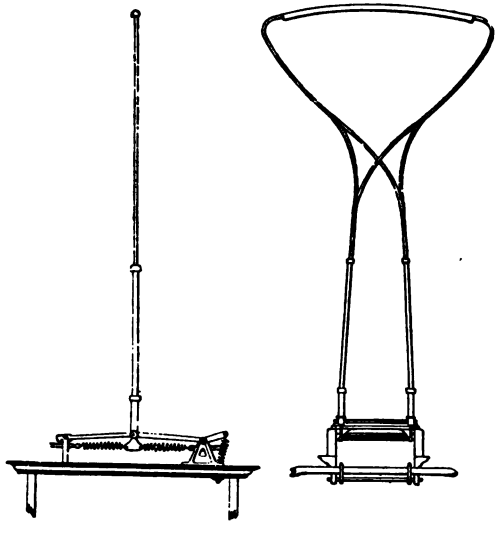


Fig. 49. — Archet, vu de côté et de face.

trolleys à frotteurs. La prise de courant se fait par une semelle garnie de métal antifriction.

d) *Archet.* — L'archet est surtout préconisé par la maison Siemens, qui en a fait des applications à Bâle, Dresde, Gênes, Mulhouse, etc. Il est en usage en France sur un certain nombre de lignes et, en particulier, sur les tramways de Fontainebleau.

La partie la plus intéressante de l'archet est le montant supérieur qui frotte sur les conducteurs aériens.

S'il est fait en métal trop dur, il risque d'user rapidement les conducteurs. D'autre part, s'il frotte toujours à la même place, il peut se scier transversalement.

Fig. 50.
Coupe de l'archet.

On évite ces deux inconvénients en adoptant un montant en métal moins dur que le cuivre et en tendant les fils en zigzags allongés au-dessus des voies.

Le montant se fait surtout en aluminium ; il a la forme d'une petite gouttière que l'on remplit de graisse (fig. 50). Quelquefois on emploie un fil de cuivre entouré d'une gaine en métal mou.

La largeur du montant étant de 1, 50 m, on voit que les déplacements latéraux des conducteurs aériens peuvent atteindre 0, 75 m soit à droite, soit à gauche de l'axe. Il en résulte la possibilité d'allonger beaucoup, dans les courbes, les côtés des polygones que forme forcément le conducteur. Cet avantage se traduit par une diminution dans le nombre des poteaux et des haubans tendeurs. La construction des aiguillages et des croisements se trouve également facilitée.

L'archet peut, comme le trolley, tourner dans le plan longitudinal ; un jeu de ressorts le presse constamment contre les conducteurs.

Il n'a pas besoin d'être muni d'un axe de rotation vertical : d'abord, parce que la largeur du montant rend inutiles les petits mouvements latéraux de la perche de support, ensuite parce que, grâce à l'élasticité du montant et des fils, il se

place toujours, de lui-même, dans une position inclinée par rapport au sens de la marche.

Aussi, n'est-il pas nécessaire, quand on est arrivé au terminus, de faire subir à l'appareil une rotation de 180°. Dès les premiers tours de roue l'archet bute contre les conducteurs, se relève verticalement puis se rabat en sens inverse. Pendant cette manœuvre la voiture reste en contact avec les conducteurs. L'éclairage n'est donc pas supprimé, alors qu'avec le trolley les lampes s'éteignent forcément, quand on tire sur la perche pour la ramener en arrière.

On fait valoir également que l'on évite tous les déraillements qui se produisent parfois avec le trolley et que l'on diminue un peu les mouvements vibratoires des conducteurs ainsi que leur action inductive sur les téléphones.

Aiguillages et croisements. — Les aiguillages et les croisements se font à l'aide de pièces pleines en bronze, aux-

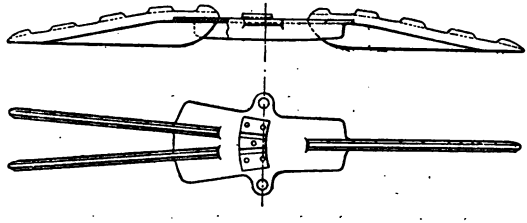


Fig. 51. — Aiguillage.

quelles on fixe les conducteurs et qui portent des saillies pour diriger la marche du trolley (fig. 51 et 52). Dans le tracé de ces pièces il faut surtout avoir pour but d'éviter les sou-

bresauts du trolley et de rendre tout déraillement impossible par un bon guidage.

Dans les aiguillages, on recommande de placer l'aiguille

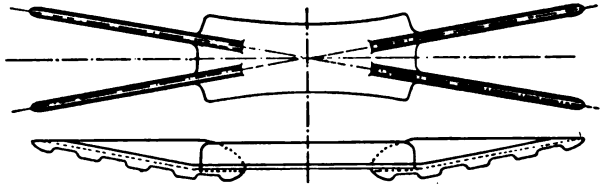


Fig. 52. — Croisement.

aérienne un peu en arrière de l'aiguillage des rails, de manière que le mouvement du trolley soit facilité par celui de la voiture.

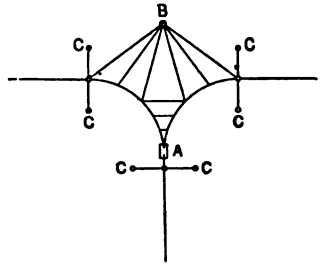


Fig. 53. — Suspension du conducteur dans les aiguillages.

Les aiguillages sont toujours plus compliqués que les croisements, attendu qu'ils servent de point de départ à une courbe. De nombreux fils tendeurs sont donc nécessaires. La figure 53 montre comment on peut soutenir les conducteurs dans le cas d'un aiguillage avec courbes, à angle droit[1]

Avec l'archet il n'y a pas besoin de pièces spéciales pour les croisements et les aiguilles. Il suffit qu'il n'y ait pas de

[1] Les lignes à voie unique avec garages à double voie nécessitent des aiguillages fréquents. On peut avoir intérêt, dans ce cas, à supprimer les aiguillages électriques et à adopter deux conducteurs, même en simple voie. Ces conducteurs sont placés à quelques centimètres l'un de l'autre et servent : l'un pour les voitures montantes, l'autre pour les voitures descendantes.

solution de continuité ou de saillies brusques dans les conducteurs aériens.

Distribution à trois fils. — Si la voie est divisée en sections alternativement à + 500 volts et — 500 volts, on se trouve, sur chaque section, dans le cas d'une ligne avec conducteurs au même potentiel.

Si, au contraire, il s'agit d'une ligne à double voie, avec conducteurs à des potentiels différents, on devra employer aux points où le conducteur à + 500 volts rencontrera le conducteur à — 500 volts des croisements isolés.

C'est là une petite complication; mais rien n'empêcherait de diviser une ligne à double voie en sections alternativement positives et négatives, comme dans le cas de la simple voie.

Distribution par courants polyphasés. — Nous prendrons, comme type la distribution par courants triphasés de Lugano, dont il a été parlé au chapitre premier.

Pour distribuer un courant triphasé il faut trois conducteurs. On peut prendre les rails pour former l'un de ces conducteurs; dans ce cas il reste à poser deux conducteurs par voie et les voitures doivent être munies de deux trolleys (fig. 54).

Les deux conducteurs aériens de Lugano sont constitués par des fils de cuivre de 6 mm de diamètre placés au-dessus et au milieu de la voie et à 25 cm l'un de l'autre. La différence de potentiel efficace entre ces deux conduc-

teurs et entre chacun d'eux et la terre (rails) est de 400 volts.

Les fils sont suspendus soit à des consoles, soit à des haubans par la méthode ordinaire.

Mais, pour les aiguillages et les croisements, il faut

Fig. 54. — Tramway avec courants triphasés.

adopter des dispositions spéciales, puisque les courants qui suivent les conducteurs aériens ne sont jamais en concordance de phase.

Les aiguillages se font comme l'indique la figure 55, qui donne, en plan, le tracé des conducteurs. P est un poteau soutenant par la console PC et les isolateurs *i* les deux con-

ducteurs aériens de la ligne principale; a' et b' sont les deux conducteurs de l'embranchement. Ces deux conducteurs sont fixés à la console PC par l'intermédiaire d'isolateur i, i' et de fils tendeurs.

D'autre part, a et a' ainsi que b et b' communiquent électriquement. Dans ces conditions, pour aiguiller le tramway,

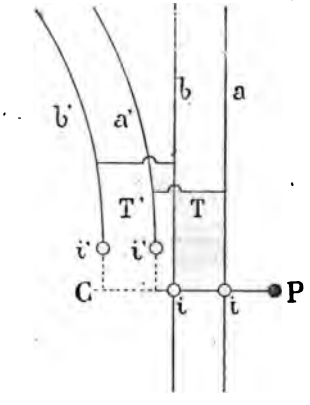


Fig. 55. — Aiguillage avec des courants triphasés.

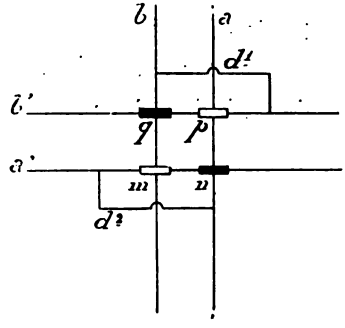


Fig. 56. — Croisement avec des courants triphasés.

il suffit de l'amener en T, et de tirer sur les trolleys pour les faire passer successivement de a sur a' et de b sur b'.

On aiguille sur a b par une manœuvre inverse.

Il n'existe pas de croisements. S'il y en avait, on adopterait une disposition analogue à la suivante (fig. 56). Les croisements m et p seraient isolés; n et q réuniraient, à la façon ordinaire, les conducteurs a, a' et b b'. Deux dérivations d_1, d_2 compléteraient l'alimentation de la ligne a' b'. On n'aurait pas besoin alors de toucher aux trolleys, car, aux

passages *m* et *p*, les moteurs continueraient à marcher, en fonctionnant comme des moteurs à courant alternatif simple.

On pourrait combiner des aiguillages d'après le même principe, ce qui permettrait de les franchir sans arrêt. A Lugano on fait coïncider les aiguillages avec l'un des arrêts obligatoires des tramways. De cette façon, les pertes de temps occasionnées par la manœuvre des trolleys sont peu sensibles.

Protection des lignes. — Les lignes doivent être protégées contre plusieurs sortes de dangers.

1° Si le fil vient à se rompre et à tomber sur le sol, il se

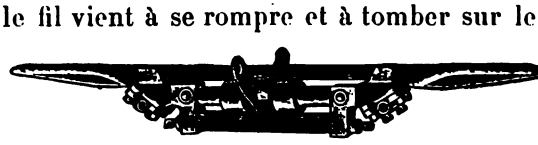


Fig. 57. — Interrupteur de ligne.

produit un court circuit capable d'endommager les conducteurs et les machines. On évite cet inconvénient à l'aide de coupe-circuits fusibles, convenablement disposés.

Généralement ces coupe-circuits ne se placent qu'à l'origine des feeders, c'est-à-dire dans l'usine. Mais on peut être amené à en monter sur la ligne elle-même.

On emploiera, dans ce cas, un appareil analogue à celui que représente la figure 57. C'est une sorte d'interrupteur calibré à sa partie inférieure de telle façon qu'il puisse être suivi sans secousse par le trolley. Il est soutenu par deux oreilles et des haubans tendeurs, comme un isolateur ordinaire. De part et d'autre se trouvent deux paliers de serrage que l'on

réunit par des fils de cuivre isolés à une boîte d'interruption, vissée sur l'un des poteaux (fig. 58). C'est dans cette boîte que l'on placera le fil fusible.

Un appareil ainsi disposé permet aussi de diviser la ligne

Fig. 58. — Boîte d'interruption.

en sections isolées, ce qui est commode pour la recherche des défectuosités d'isolement. Dans ce cas, les fils venant des deux paliers de serrage aboutissent à une boîte contenant un interrupteur que l'on peut manœuvrer à la main.

Certaines compagnies (exemple, Fives Lille) ont même combiné des interrupteurs fonctionnant automatiquement, dès que le courant dépasse une intensité donnée..

2° On doit empêcher que les fils téléphoniques ou télégraphiques ne puissent, quand ils cassent, tomber sur les conducteurs aériens. A cet effet, ceux-ci sont protégés par des *fils de garde* qui sont constitués par des fils en fer ou en acier régnant parallèlement aux fils de trolley et à 50 cm environ au-dessus. Ces fils de garde sont tendus par des haubans isolés.

On peut éviter ces haubans en soutenant les fils de garde

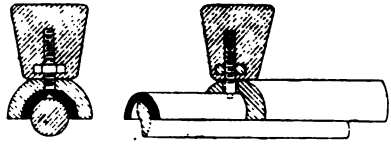


Fig. 59. — Garniture isolante pour la protection des lignes.

par des isolateurs fixés sur des supports mêmes des conducducteurs aériens. Mais cela n'améliore évidemment pas l'aspect de la ligne.

Lorsque la zone à protéger est localisée on préférera souvent protéger les fils eux-mêmes, en les recouvrant d'une demi-garniture isolante (fig. 59).

Il est nécessaire d'employer des vis également isolées, afin que l'isolant soit continu.

3° Il faut enfin installer, en un certain nombre de points, (tous les 7 à 800 m environ) des parafoudres pour l'écoulement de l'électricité atmosphérique, lorsque le tonnerre vient à tomber sur la ligne. Des parafoudres se placent également, comme nous le verrons plus loin, sur les voitures et dans les usines.

Un parafoudre très simple est constitué par deux peignes métalliques situés en regard et à 2 mm environ, l'un de l'autre. Le premier est relié à la ligne aérienne et le deuxième à une bonne terre (puits, rivière, terrain humide etc...) En temps normal la couche d'air qui sépare les deux peignes ne laisse pas passer d'électricité; mais elle est très facilement franchie par la foudre.

A ce moment, un arc étant amorcé, le courant de la ligne tendra à suivre le même chemin. Pour l'en empêcher « on souffle » l'arc. Le souffleur est un simple électro-aimant qui se trouve excité par une dérivation du courant.

CHAPITRE IV

TRAMWAYS AVEC CONDUCTEURS SOUTERRAINS

Dispositions générales. — I. Tramways avec caniveau axial. — Caniveau de Blackpool. — Système Love. — Système Connett. — Système de la General Electric Company. — Nouveaux caniveaux de New-York. — II. Tramways avec caniveau latéral. — Caniveau de Budapest, système Siemens. — Nouveau caniveau Siemens. — Caniveau de la Société Nouvelle d'Electricité. — Système Thomson-Houston. — Système Hœrde. — Caniveau à conducteur flexible, système Waller-Manville. — Galerie visitable.

Dispositions générales. — Dans le système que nous allons étudier, les conducteurs sont logés, comme nous l'avons déjà indiqué au chapitre premier, dans un caniveau établi sous la chaussée et ouvert suivant une fente longitudinale. La prise de courant se fait par un trolley inférieur ou par un frotteur. Mais, en raison de l'exiguïté de la fente, on ne peut transmettre le courant à la voiture, par une perche, comme dans le cas des conducteurs aériens. Il faut adopter un support plat, qui puisse facilement glisser dans la rainure.

Un bon caniveau doit évidemment satisfaire aux conditions ci-après :

1° Être indéformable. En particulier, il faut que, sous les lourdes charges qui circulent dans les rues ou sous la

poussée du pavage en bois, quand la chaussée comporte un tel mode de revêtement, les bords de la rainure ne se rapprochent pas jusqu'à empêcher le passage du plateau conducteur;

2° Assurer un écoulement rapide des eaux pluviales ou d'arrosage;

3° Être facile à nettoyer;

4° Permettre de changer les isolateurs et les conducteurs sans qu'il soit besoin de démolir en grand la chaussée.

La rigidité du caniveau peut toujours être obtenue. Il suffit d'employer des ossatures appropriées aux efforts auxquels il faut résister.

Le nettoyage du caniveau et l'écoulement des eaux qui s'y introduisent est d'autre part bien facile à réaliser dans les voies où il existe un réseau d'égouts. On établira, tous les 100 mètres, par exemple, une communication entre l'égout et la galerie; l'eau pluviale ou d'arrosage s'y dirigera d'elle-même en suivant la pente du caniveau, c'est-à-dire celle de la rue. Quant aux boues et détritus, il suffira, pour les évacuer, de promener de temps en temps dans le caniveau un balai accroché aux voitures. On facilitera au besoin cette opération par un arrosage abondant.

Une chute de neige importante est un obstacle plus sérieux. Aux États-Unis, on a eu, de ce fait, à constater quelques arrêts; mais il convient d'ajouter qu'à ce moment les autres tramways étaient également en détresse.

Ce qui paraît être plus gênant, c'est quand il se produit un dégel superficiel, alors que la température du sol est encore

au-dessous de zéro. L'eau qui passe par la fente gèle, au contact des rails de rainure et peut alors l'obstruer. On ne saurait toutefois s'effrayer de telles éventualités qui doivent se produire bien peu souvent et contre lesquelles il est d'ailleurs facile de se préparer.

La largeur de la rainure ne saurait être arbitraire. D'abord, il ne faut pas que les roues des voitures ou des bicyclettes courent le risque de s'y engager. Ensuite, elle doit être telle que les passants ne puissent établir de contact avec les conducteurs.

A Paris, la largeur maxima imposée est de 29 mm. On descend encore plus bas en Amérique (20 mm).

L'appareil servant pour la prise du courant présente quelques sujétions particulières. En particulier il doit être muni de joues ou d'avant-becs en acier, afin de pouvoir chasser ou briser les pierres qui s'engageraient dans la rainure. Il faut aussi le protéger contre l'usure inévitable qui se produit pendant son déplacement, par suite de son frottement contre les bords de la fente. Mais il est nécessaire que, tout en étant très solide, il jouisse d'une certaine souplesse, de manière à se placer de lui-même bien au milieu de la rainure et à conserver son contact avec les conducteurs pendant les soubresauts de la voiture.

La fente par laquelle passe le frotteur se place soit dans l'axe de la voie, soit le long de l'un des rails.

La première disposition est d'un usage exclusif aux États-Unis où, en raison de l'instabilité du sous-sol des rues, on cherche à avoir des voies bien symétriques. Elle a en outre

l'avantage de faciliter les aiguillages. En Europe on préfère la deuxième disposition qui ne modifie pas l'aspect ordinaire des voies et qui permet de supprimer la surface glissante formée par les rails centraux.

Un grand nombre de caniveaux ont été exécutés ou proposés. Nous ne décrirons que les principaux, en les divisant en deux catégories, suivant la place de la rainure.

I. — Tramways avec caniveau axial

Caniveau de Blackpool. — Ce caniveau, qui a fonctionné pendant plusieurs années à Blackpool[1], a été imaginé par M. Holroyd Smith.

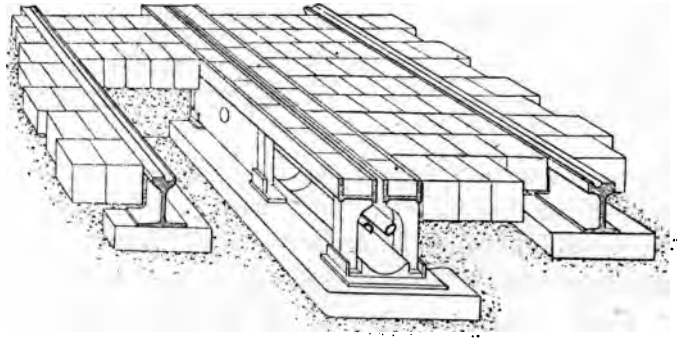


Fig. 60. — Voie avec conducteurs souterrains de Blackpool.

Il se composait (fig. 60) de chaises en fonte de 30 cm de hauteur et de 33 cm de base, placées dans l'axe de la voie tous

[1] Il est maintenant remplacé par une ligne à trolley. En raison du voisinage de la mer il était très difficile d'empêcher l'envahissement du caniveau par le sable.

les 1 m et raccordées d'une part par un radier en béton, d'autre part par des parois latérales en bois créosoté.

Primitivement les conducteurs avaient été supportés par des isolateurs horizontaux encastrés dans la paroi en bois (fig. 61). Et, bien que le retour du courant se fît par les rails, on avait adopté deux conducteurs au même

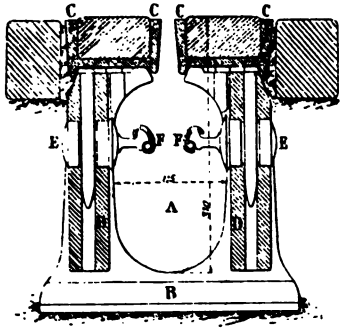


Fig. 61.
Premier caniveau de Blackpool.

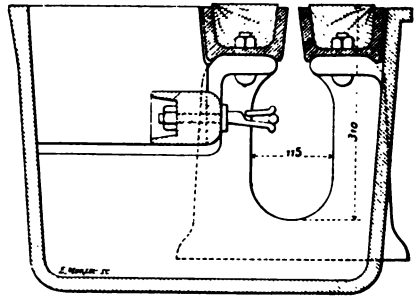


Fig. 62.
Deuxième caniveau de Blackpool.

potentiel de 300 volts. Le trolley était à deux frotteurs.

Mais, à la suite de nombreux accidents, on avait renoncé aux isolateurs non visitables et l'on avait adopté des boîtes d'isolement placées tous les 3 mètres. En outre, pour dégager le caniveau, le nombre des conducteurs fut réduit de deux à un. La figure 62 donne une coupe transversale d'une boîte d'isolement. Comme le fond de cette boîte est plus bas que celui du caniveau, les boues peuvent venir s'y accumuler. On les enlève après avoir ouvert la boîte. Il suffit également de soulever le couvercle pour inspecter l'isolateur.

Le trolley pour deux conducteurs est représenté par la

figure 63. Il porte deux frotteurs reliés à une plaque de laiton C isolée, que protège une enveloppe en fonte et deux gardes en acier durci. A l'avant et à l'arrière se trouvent deux socs nettoyeurs en acier trempé. L'ensemble est supporté par des cordes qui cassent quand l'effort à vaincre dépasse une certaine limite. En même temps le conducteur

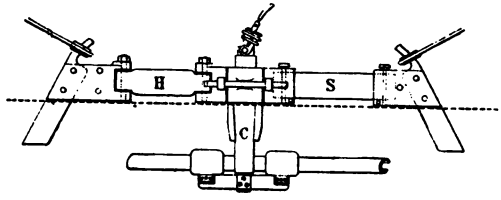


Fig. 63. — Tramway de Blackpool. — Appareil pour la prise de courant.

souple qui relie le trolley à la voiture échappe à sa suspension et le courant se trouve alors interrompu.

L'élasticité des socs dans le sens latéral est obtenue soit à l'aide d'une lame en acier S, soit par une plaque en fer H à charnière.

Sytème Love. — Une application intéressante de ce système existe, depuis 1893, dans *U Street*, à Washington, sur une ligne à caniveau prolongeant une ligne à trolley de la banlieue (*Rock Creek Railway*). Le gouvernement fédéral ayant refusé l'autorisation d'installer des conducteurs aériens dans les rues, la compagnie qui exploite le tramway dut adopter le caniveau souterrain sur une longueur de 2600 m.

L'élément constitutif du système Love est une traverse en fonte de 120 kg noyée dans du béton (fig. 64). L'espacement

des traverses est de 1,20 m. Elles sont reliées par un canal en fonte de 15 mm d'épaisseur reposant sur une fondation en béton.

La rainure, qui n'a que 20 mm, est formée par deux rails plats, boulonnés sur les traverses et munis de rebords verticaux de 0, 127 m.

C'est dans le petit espace compris entre ces rebords et

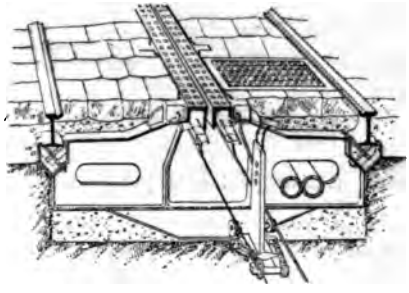


Fig. 64. — Caniveau système Love. — Coupe transversale.

la partie supérieure du caniveau que sont logés les conducteurs. De cette façon ils sont inaccessibles et ne peuvent être atteints ni par la pluie, ni par les produits du balayage.

La distribution se fait à 500 volts, avec un conducteur d'aller et un conducteur de retour. Ces conducteurs, qui sont en cuivre, rappellent, comme forme, un huit aplati (fig. 65). Ils sont soutenus par des pinces en métal à canon qui peuvent glisser le long de tiges horizontales.

Cette disposition permet aux conducteurs de se dilater et de se contracter selon les variations de la température. Quant aux tiges, elles sont fixées dans des blocs en matière isolante

(mica) faisant corps avec la traverse. En alignement droit on place une tige par deux traverses.

La prise du courant se fait par un trolley inférieur, avec deux roues de contact (fig. 66).

Les conducteurs isolés sont protégés par des plaques en acier.

D'après les renseignements qui nous ont été donnés sur

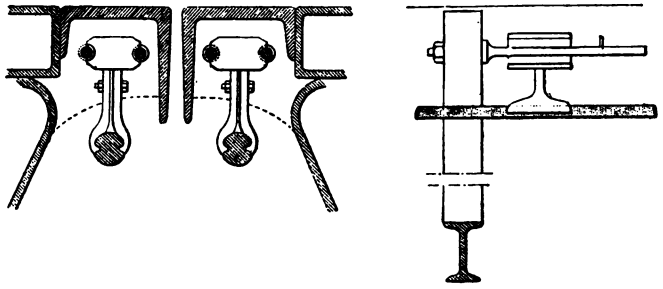


Fig. 65. — Système Love. — Détail des isolateurs.

place, ces plaques résisteraient très bien à l'usure que produit leur frottement sur les rebords de la rainure. Elles dureraient environ un an.

Les rails rainures étant boulonnés sur les traverses, doivent être démontés lorsque l'on veut visiter ou réparer les isolateurs. C'est là un défaut grave du système. Les rails ont, en outre, l'inconvénient de former une surface glissante pour le pied des chevaux, malgré le quadrillage dont ils sont munis.

Il est utile de pouvoir couper la ligne en des points assez rapprochés afin de procéder rapidement aux recherches de fuite.

A cet effet on a ménagé dans l'entrevoie, tous les 100 pieds, un regard dont on aperçoit la plaque de fermeture sur la figure 64.

C'est aussi par ces regards que l'on accède au trolley quand

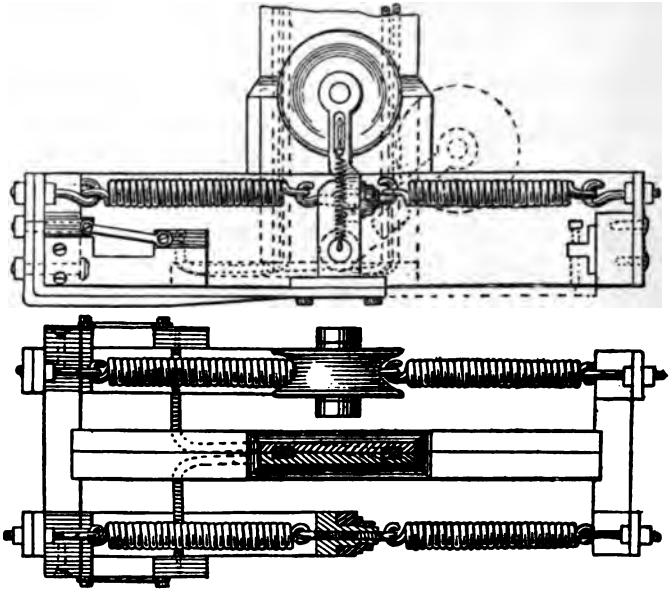


Fig. 66. — Système Love. — Frotteurs.

il a laissé échapper les conducteurs. Lorsque cet accident se produit, la voiture reste en panne, en attendant que la voiture suivante vienne la pousser jusqu'au plus prochain regard.

Le caniveau communique avec les égouts tous les 100 pieds. De cette façon l'évacuation de l'eau se fait toujours très rapidement.

Les feeders d'alimentation sont souterrains. Ils passent par les ouvertures existant dans l'âme des traverses.

Le passage de la ligne à trolley à la ligne à caniveau s'opère très rapidement. Le conducteur amène sa voiture au-dessus d'une petite chambre dans laquelle se tient un ouvrier prêt à poser le trolley inférieur. En quelques secondes l'appareil est accroché.

Le conducteur s'engage alors, en se servant encore du fil aérien, dans le caniveau et, quand le trolley inférieur a pris contact, il tire avec une corde sur le trolley supérieur, pour éviter que celui-ci ne subisse, pendant la marche, des oscillations dangereuses.

Sytème Connett. — Le système de M. Connett fonctionne dans la neuvième rue de Washington, depuis le mois de juillet de l'année 1895 (*Metropolitan Railroad Company*).

Les traverses, en fonte, sont espacées de 1,38 m et raccordées par un canal en béton. La rainure est formée par deux rails en acier boulonnés sur les traverses et laissant entre eux, au niveau de la chaussée, un vide de 29 mm. Ces rails sont de plus maintenus par des tirants qui prennent leur point d'appui sur deux saillies fixes, ménagées sur les traverses.

La distribution se fait à 500 volts. Les conducteurs, au nombre de deux (aller et retour du courant), sont constitués par des fers à T, à aile verticale.

Les isolateurs sont verticaux. Ils sont suspendus tous les 3,76 m aux rebords d'une petite boîte carrée de 20 cm/20 cm

boulonnée avec les rails de rainure et munie d'un couvercle en fonte quadrillée.

Indépendamment de ces boîtes, il existe en regard et de l'autre côté de la rainure des trous d'homme permettant de visiter les conducteurs et les isolateurs. Ces trous, qui sont fermés par des plaques en fonte quadrillée, ont 50 cm/50 cm.

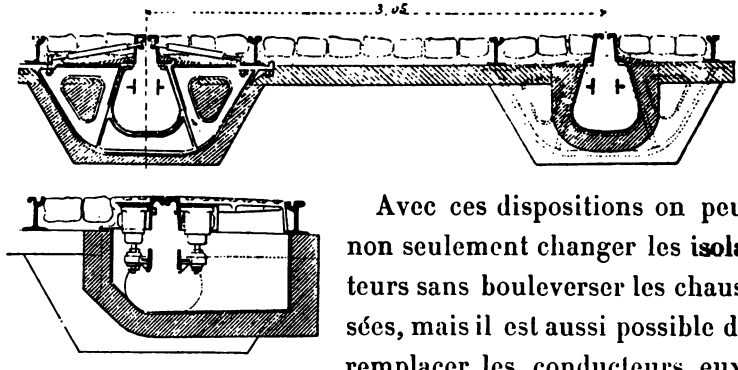


Fig. 67. — Caniveau système Connett. — Coupe en voie courante et coupe sur regard.

Avec ces dispositions on peut non seulement changer les isolateurs sans bouleverser les chaussées, mais il est aussi possible de remplacer les conducteurs eux-mêmes. A cet effet on a ménagé tous les 400 pieds, dans l'axe même de la voie, une ouverture mobile de 1 m de longueur sur 30 cm de largeur. Grâce à cette ouverture on peut introduire dans le caniveau un rail conducteur entier (25 pieds). Pour l'amener en place il suffit de le suspendre par des cordes à un truck que l'on fait circuler au-dessus de la rainure.

La prise de courant se fait par des frotteurs maintenus par des ressorts entre les faces verticales des conducteurs. Ces frotteurs s'usent assez vite; mais, comme ils ne coûtent que 0,40 fr, leur remplacement ne peut être considéré comme oné-

reux. La communication entre les frotteurs et les moteurs est

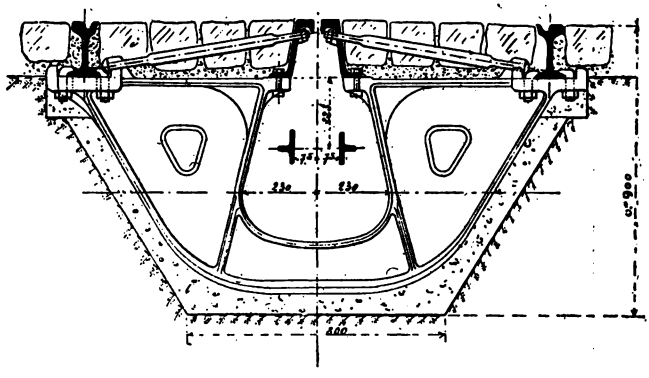


Fig. 68. — Caniveau de la ligne Charenton-Bastille. — Coupe transversale en voie courante.

assurée par des fils de cuivre isolés, protégés par des plaques en acier. Pour éviter que celles-ci ne s'usent trop rapi-

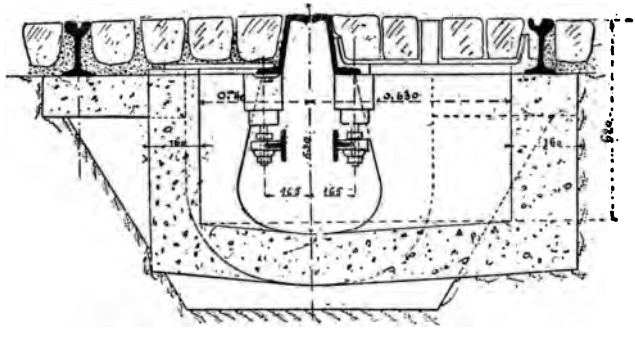


Fig. 69. — Caniveau de la ligne Charenton-Bastille. — Coupe transversale sur regard.

dement, on les a suspendues à la voiture, de telle sorte qu'elles puissent osciller comme un pendule.

Le système Connett a été employé à Paris, pour l'équipement partiel de la ligne Charenton-Bastille.

Fig. 70. — Caniveau de la ligne Charenton-Bastille. — Mode de construction du caniveau.

Sur la demande de l'administration on a supprimé les nombreux couvercles en fonte établis au niveau de la chaussée, au-dessus des isolateurs. Le caniveau, ainsi simplifié, est représenté en coupe par les figures 68 et 69. La figure 69

donne une coupe prise à l'emplacement d'un regard de nettoyage. Il y a trois regards par hectomètre. Le cadre qui recouvre ces regards a été garni de pavés de bois. De cette façon la voie a absolument l'aspect d'une voie ordinaire de tramway.

L'espacement des traverses en fonte est de 1,40 m. La figure 70 montre suffisamment quel est le mode de construction du caniveau.

Nous avons déjà signalé qu'en matière de caniveau un point délicat de la construction était l'établissement des aiguillages. Sur Charenton-Bastille les aiguillages sont constitués par de longues pièces en acier, taillées en pointe (fig. 71). Ces pièces peuvent tourner à l'une de leurs extrémités autour d'un fort pivot et, par l'autre, elles reposent sur un rebord du rail rainure. L'aiguille a ainsi deux points d'appui.

A partir de la traverse AB le caniveau va en s'élargissant. Il se dédouble quand il a atteint le pivot de l'aiguille.

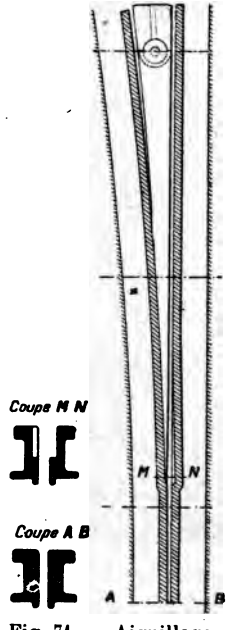


Fig. 71. — Aiguillage.

Système de la General Electric Company. — La *General Electric Company*, l'une des plus puissantes sociétés électriques des Etats-Unis, a établi au commencement de l'année 1895 dans la *Lenox Avenue*, à New-York, pour le compte de la *Metropolitan Street Railway Company*, un caniveau souterrain de 2400 m de longueur.

La traverse employée est un joug de funiculaire, ce qui

s'explique par ce fait que la Metropolitan Street Railway Company avait voulu se réserver la possibilité de recourir à la traction par câble, dans le cas où les conducteurs souterrains n'auraient pas donné de bons résultats. Le caniveau est en béton avec garniture en tôle; la rainure n'a que 20 mm d'ouverture.

La distribution se fait à 550 volts avec deux conducteurs.

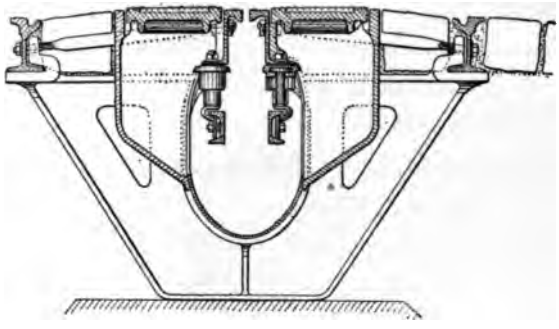


Fig. 72. — Caniveau de la General Electric Company.

Ceux-ci sont en fer et ont la forme d'un U renversé. Leur isolement est réalisé de deux façons. Ou bien ils sont suspendus à des isolateurs verticaux, fixés par une tête en acier coulé aux rails de rainure et accessibles par de petits regards, ou bien, mais c'est l'exception, ils sont fixés à des blocs verticaux en stéatite reposant sur le radier de regards plus importants que les précédents et pouvant être assimilés à des trous d'homme.

La prise de courant est obtenue par des frotteurs en fer suspendus à un chariot qui passe par la rainure du caniveau et que la voiture entraîne avec elle (fig. 73). La partie en

contact avec la rainure comprend deux plaques en acier, protégeant les câbles en cuivre qui conduisent le courant récolté par le frotteur jusqu'au moteur. Ces câbles sont soigneusement isolés par des feuilles de mica.

L'usure des plaques n'est pas très rapide, puisqu'elles peuvent parcourir 11 000 km avant d'être hors de service. Les frotteurs sont usés au bout de 3 000 km seulement ; mais ils ne coûtent que 15 cent. Le chariot avec ses frotteurs, conducteurs et plaques de garde revient à 23 francs.

Les réparations se font comme dans le système Connett. Ainsi, pour changer un rail de contact, on le dévisse par les regards et, en le suspendant à des cordes, on l'amène jusqu'à des ouvertures longitudinales, espacées de 400 pieds et qui permettent de le sortir du caniveau.

Fig. 73. — Frotteur pour la prise de courant.

Nouveaux caniveaux de New-York. — La traction par conducteurs souterrains ayant donné de bons résultats, la *Metropolitan Street Railway C°* a décidé d'étendre le système à d'autres lignes.

Mais elle a naturellement renoncé à employer un caniveau à deux fins, la traction par câble n'ayant plus aucune chance d'être appliquée.

Le caniveau qu'elle a adopté est très résistant. Il est constitué par un canal en béton prenant appui sur de fortes

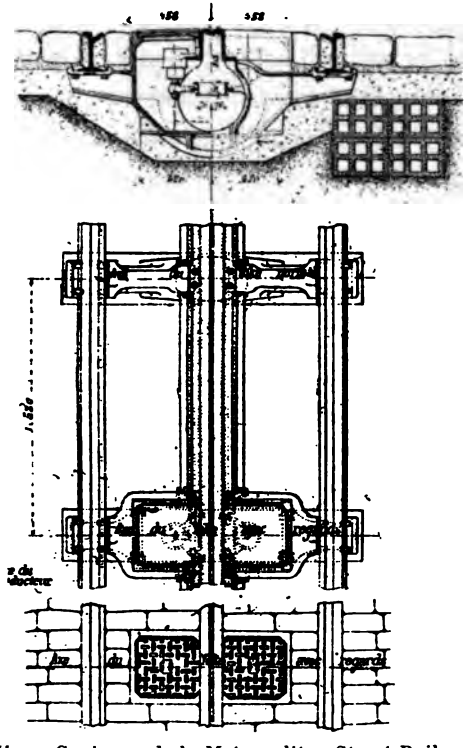


Fig. 74. — Caniveau de la Metropolitan Street Railway C°.
Plan et coupe transversale.

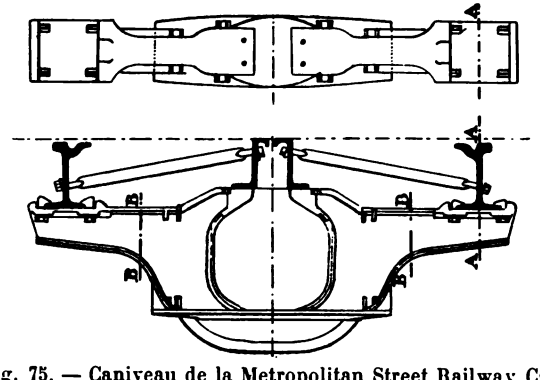


Fig. 75. — Caniveau de la Metropolitan Street Railway C°
Traverse, élévation et plan.

traverses en fonte placées tous les 1,525 m (fig. 74). Les rails-rainure en forme de Z sont boulonnés par quatre boulons sur chaque traverse. En outre ils sont consolidés par des entretoises prenant appui sur les rails.

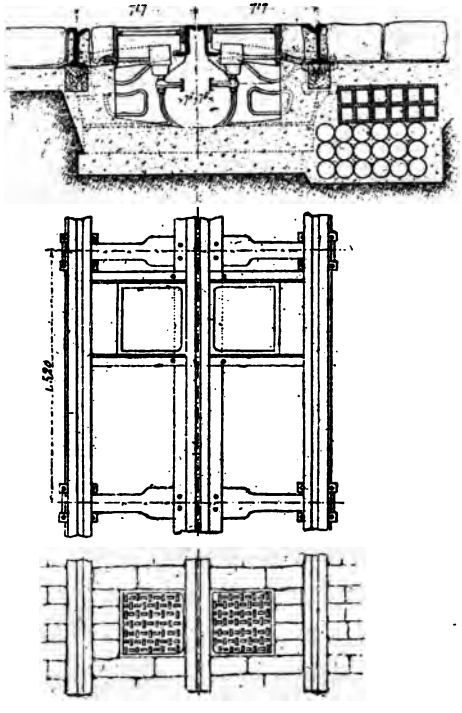


Fig. 76. — Caniveau de la Third Avenue. — Plan et coupe transversale.

Le canal en béton n'a que 13 cm d'épaisseur, mais sa section est renforcée au droit des traverses. En ces points les traverses sont complètement noyées dans un massif de béton.

Les isolateurs sont verticaux. Ils sont fixés par des boulons aux rails-rainure. Un regard, recouvert par une plaque en fonte striée, permet de les visiter.

Une autre Compagnie de New-York, la *Third Avenue Railway Company*, a adopté un type de caniveau un peu différent (fig. 76). L'élément essentiel est toujours un canal en béton consolidé par des traverses en fonte. Mais les rails ne repo-

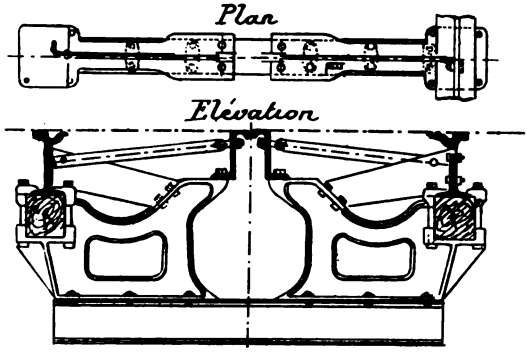


Fig. 77. — Caniveau de la Third Avenue. — Traverse, élévation et plan.

sent pas directement sur les traverses. Ils sont placés sur des longrines continues s'appuyant sur les extrémités des traverses. On obtient ainsi une voie plus douce que dans le cas précédent. Les rails-rainure et les rails de roulement sont contreventés par des entretoises. De plus les rails sont entretoisés avec les traverses par des « bracons » en tôle (fig. 77).

Les isolateurs sont verticaux et accessibles par des regards. Ils sont boulonnés à la fois sur le rail-rainure et sur de petites saillies du regard.

II. — Tramways avec caniveau latéral

Caniveau de Budapest, système Siemens. — Ce système a été appliqué pour la première fois par la maison Siemens et Halske, en 1889, aux tramways de Budapest.

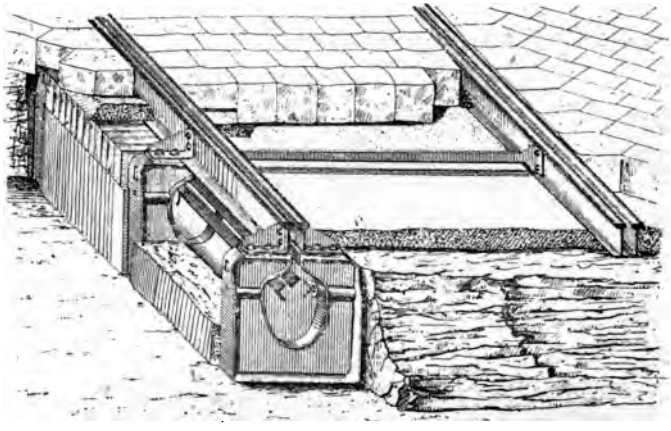


Fig. 78. — Caniveau de Budapest. — Coupe en voie courante.

Le caniveau est constitué par des panneaux ovoïdes en fonte de 0,33 m sur 0,28 m espacés de 1,20 m et raccordés par un canal en béton. Mais ce béton ne règne que jusqu'aux naissances. Au-dessus le canal est constitué par des briques que l'on peut enlever assez facilement lorsque l'on veut ouvrir le caniveau.

L'entretoisement des chaises est assuré par les rails-rainure qui sont du type Haarmann. Leur écartement normal est de 33 mm ; mais il atteint souvent 40 mm.

La liaison des chaises et des rails est assurée par des équerres en fer forgé. En outre, le rail-rainure et le rail extérieur de la voie sont solidement entretoisés.

La distribution se fait à 300 volts avec conducteur de retour. Les deux conducteurs sont constitués par des fers cornières de 65 mm de côté.

Ils sont soutenus par des isolateurs horizontaux en porcelaine, scellés eux-mêmes dans des trous venus de fonte avec la chaise (fig. 79).

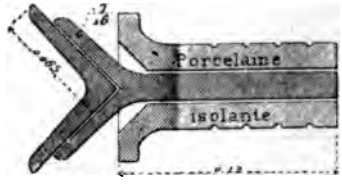


Fig. 79. — Coupe de l'isolateur et du conducteur.

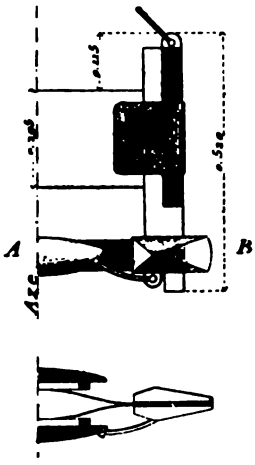


Fig. 80. — Appareil pour la prise de courant. Demi-plan et demi-élévation.

Le collecteur de courant a la forme d'une navette (fig. 80). Il est constitué par deux pièces frottantes dont la forme épouse celle des cornières et qui sont maintenues en contact avec celles-ci par des ressorts. Cette navette est suspendue à un cadre en bois fixé à la voiture. Au point de contact du cadre et de la rainure les montants sont protégés par une feuille de tôle mince. La communication entre les frotteurs et le moteur se fait par des fils isolés.

Dans ce système, comme dans tous les systèmes à caniveau, d'ailleurs, le point le plus délicat de la construction

est constitué par les *aiguilles*. Il est nécessaire de combiner, pour ces passages, des caniveaux de forme spéciale, s'élargissant naturellement au fur et à mesure que l'on se rapproche de la pointe et se raccordant avec le caniveau de la

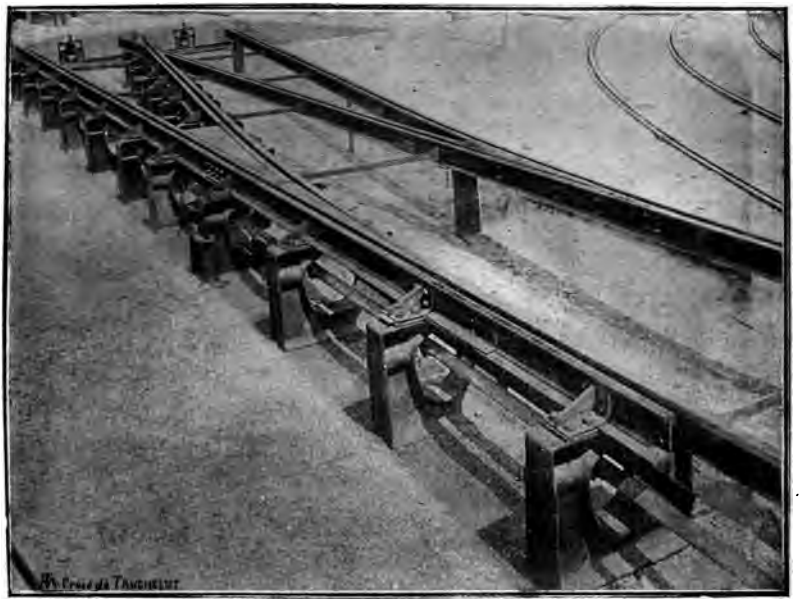


Fig. 81. — Caniveau de Budapest. — Aiguillage.

voie sur laquelle on s'aiguille. La figure 53 montre l'ossature compliquée que, pour ces cas particuliers, on a dû exécuter.

Nouveau caniveau Siemens. — Le caniveau que nous venons de décrire a été notablement amélioré par la maison Siemens, pour l'équipement de nouvelles lignes à Budapest

et d'une ligne mixte à Berlin. Cette dernière ligne comporte une longueur de 7 km avec conducteurs aériens et archet et de 2 km avec conducteurs souterrains.

L'amélioration principale porte sur les isolateurs qui ne sont plus horizontaux, mais verticaux. Il arrive, en effet, avec les anciens isolateurs de Budapest, que la boue se

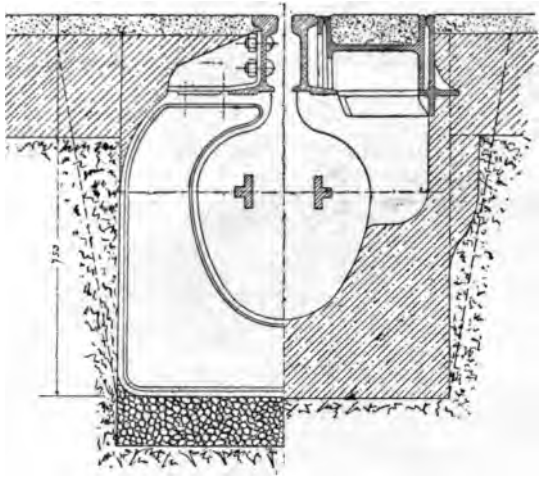


Fig. 82. — Nouveau caniveau Siemens.

dépose sur le cylindre en porcelaine (fig. 79) dans lequel est fixée la fourche soutenant le conducteur, établissant ainsi une communication entre le conducteur et la chaise en fonte, c'est-à-dire entre le conducteur et la terre.

Les isolateurs nouveaux (qui sont espacés de 2,5 m) sont fixés à une tige verticale en fer, boulonnée sur le patin des rails, au milieu de l'intervalle formé par deux chaises consécutives, mais de deux en deux chaises seulement (espace-

ment des chaises 1,25 m). On peut, en outre, les visiter et les dévisser en ouvrant de petites trappes de 20 cm de côté dont le couvercle est asphalté ou fermé par un pavé, suivant le mode de revêtement de la chaussée.

Les conducteurs ont été également modifiés. Au lieu de cornières on a adopté des fers à T, à aile verticale et âme très courte, boulonnés sur une mâchoire que supporte l'isolateur. Les dimensions de ces conducteurs sont telles qu'après avoir déboulonné les mâchoires, par les petites trappes des isolateurs, on peut, à l'aide de pinces, retirer ces conducteurs du caniveau en les faisant passer par la rainure. Avec l'ancien système, au contraire, les conducteurs et les isolateurs ne sont pas accessibles et il faut, pour les visiter ou les remplacer, éventrer complètement la chaussée.

A Berlin, comme la ligne est mixte, on a dû prendre des dispositions spéciales pour passer de l'une à l'autre section. A l'origine du caniveau, le radier se relève, en pente inclinée, jusqu'à rejoindre la rainure. D'autre part l'appareil de prise de courant est constitué par un plateau muni de frotteurs inclinés et, à sa partie inférieure, de deux galets de roulement. En voie courante ces deux galets sont suspendus au-dessus du radier du caniveau. Mais, au point de passage, ils viennent rouler sur la pente dont il a été parlé plus haut et ils font sortir l'appareil de prise de courant du caniveau. Dans ce but on a disposé cet appareil de telle façon qu'il puisse se mouvoir verticalement en roulant le long des ailes d'un fer à T supporté par la voiture. Pour passer de la ligne

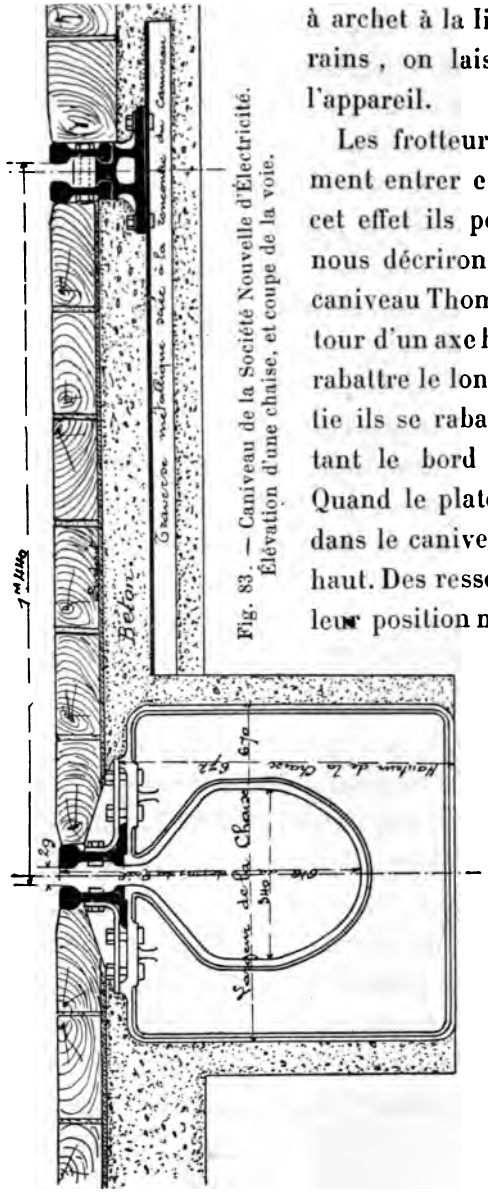


Fig. 83. — Caniveau de la Société Nouvelle d'Électricité. Élévation d'une chaise, et coupe de la voie.

à archet à la ligne à conducteurs souterrains, on laisse simplement retomber l'appareil.

Les frotteurs doivent pouvoir également entrer et sortir par la rainure. A cet effet ils peuvent, comme ceux que nous décrirons plus loin, en parlant du caniveau Thomson-Houston, tourner autour d'un axe horizontal, de manière à se rabattre le long du plateau. Pour la sortie ils se rabattent vers le bas en heurtant le bord inférieur de la rainure. Quand le plateau s'engage au contraire dans le caniveau ils sont relevés vers le haut. Des ressorts les maintiennent dans leur position normale.

Caniveau de la Société Nouvelle d'Électricité. — Ce caniveau, qui dérive du caniveau Siemens, a été étudié par la Société Nouvelle d'Électricité, spécialement en vue de l'application de la traction par conducteurs souterrains aux rues de Paris. Il a été construit, à

titre d'essai, dans la rue de Châteaudun, sur une longueur d'environ 100 m. Cette rue, qui est pavée en bois, reçoit une circulation très intense.

Les chaises, qui sont excessivement robustes (elles pèsent 80 kg), ne sont espacées que de 80 cm. Malgré cela il a été reconnu que, sous la poussée du pavage en bois, la rainure,

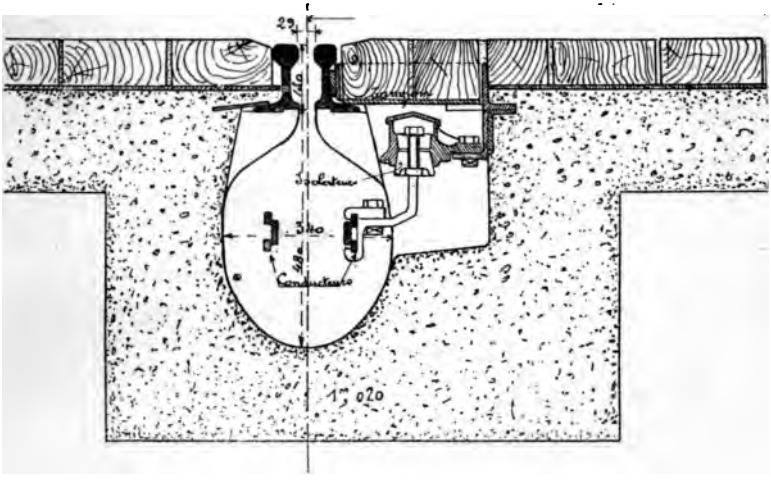


Fig. 84. — Caniveau de la Société Nouvelle d'Électricité. Coupe à l'aplomb d'un isolateur.

qui a 29 mm, s'était rétrécie en certains points de quelques mm. La largeur restante est encore bien suffisante pour le passage d'un trolley (nous avons dit qu'en Amérique on descendait jusqu'à 20 mm). La Société estime d'ailleurs que pour réaliser la largeur de 29 mm autorisée à Paris, il lui suffirait, dans une installation définitive, de donner à la rainure, au moment du montage, une largeur initiale de 31

à 32 mm, laquelle, sous la poussée du pavage en bois[1], se réduirait d'elle-même à 29 mm.

Les isolateurs (fig. 84) sont accessibles par une petite trappe à couvercle creux, garni de pavés en bois. Par cette trappe on peut également dévisser les conducteurs auxquels on a d'ailleurs donné une forme telle que l'on puisse les sortir par la rainure.

Système Thomson-Houston. — La société allemande qui exploite les brevets Thomson-Houston (Union-Elektricitäts-Gesellschaft) vient d'installer à Berlin et à Bruxelles un caniveau que nous représentons par les figures 62 et 63. Ce caniveau est placé sous chacun des rails intérieurs. Pour soutenir ceux-ci, on a établi, tous les 1,20 m, des cadres en fonte ayant 72 cm de largeur à la base et que raccorde un canal en béton de 32 cm de largeur.

Les rails de rainure sont distants de 30 mm. Ce sont des rails Vignole avec patin à ergot qui s'oppose au renversement. Ils sont en outre fixés aux cadres par de forts boulons.

Les conducteurs, au nombre de deux (un pour l'aller et l'autre pour le retour du courant)[2] sont formés par de petits rails Vignole de 8 m de longueur. Ils sont supportés tous les

[1] Cette poussée est due à ce que le pavé se gonfle sous l'action de l'humidité. Elle oblige fréquemment à remanier les bordures des trottoirs, malgré la précaution que l'on prend d'établir un joint en sable de 8 à 10 centimètres d'épaisseur, le long de la bordure. Avec l'asphalte ou le pavé de pierre il ne se produit pas de poussée de ce genre.

[2] La distribution se fait à 500 volts.

8 m par des isolateurs verticaux qui les soutiennent par leurs extrémités et qui forment en même temps éclissage électrique.

Les isolateurs sont fixés par leur partie supérieure à des boîtes en fonte, placées entre deux cadres exceptionnellement rapprochés de 80 cm. Ces boîtes, qui sont supportées

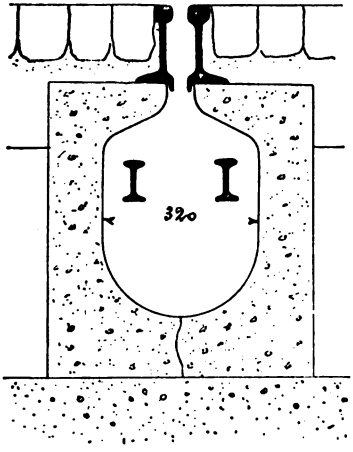


Fig. 85. — Caniveau de Berlin, système Thomson-Houston. — Coupe du caniveau.

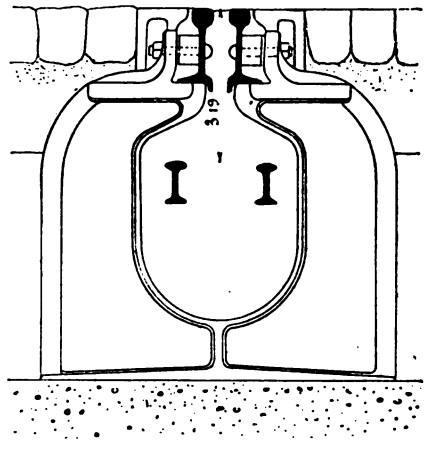


Fig. 86. — Caniveau de Berlin, système Thomson-Houston. — Elévation d'un cadre en fonte.

à la fois par le rail-rainure et par les cadres, sont fermées par un couvercle en fonte quadrillée, arasée au niveau de la chaussée[1].

On dispose d'un double isolement : d'abord, au point de support des conducteurs; ensuite, au point d'appui des isolateurs sur leur boîte.

[1] Voir les isolateurs en élévation sur la figure 87.

252209

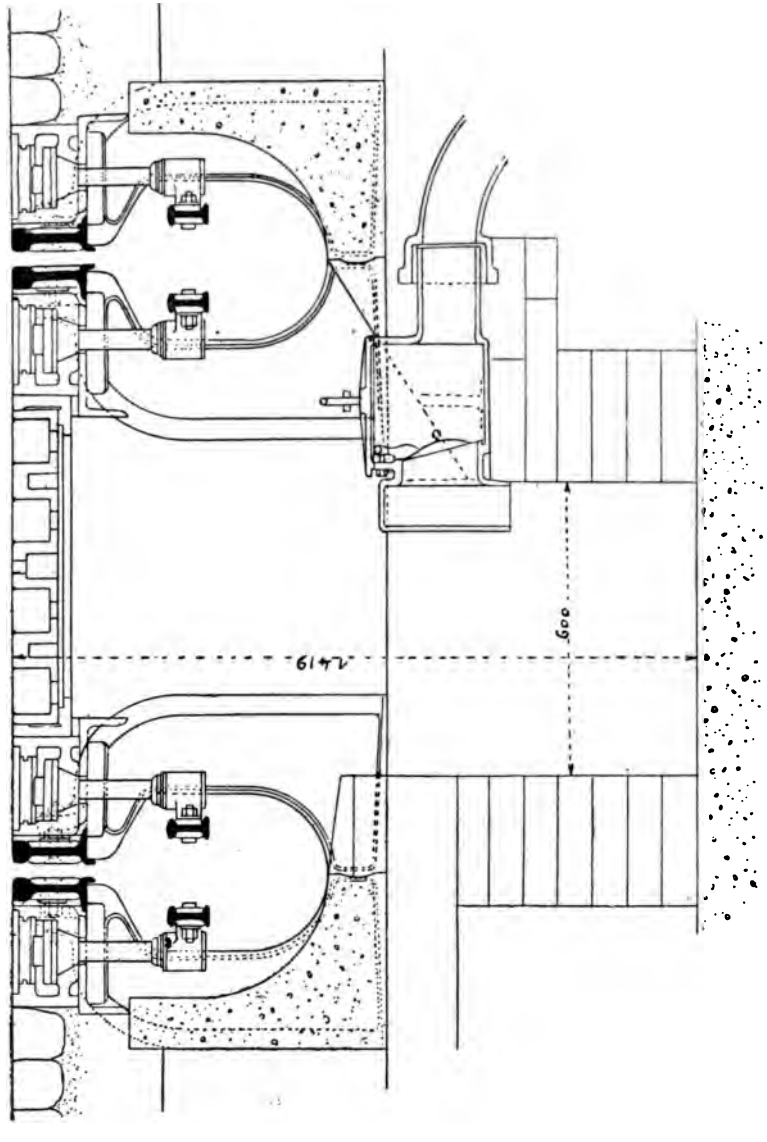


Fig. 87. — Caniveau de Berlin, système Thomson-Houston. — Communication avec les égouts.

La figure 87 représente une communication du canal avec

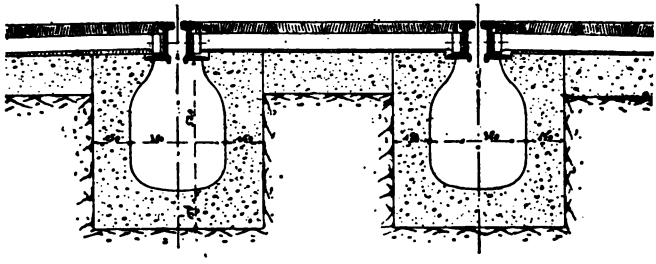


Fig. 88. — Caniveau de Paris. — Coupe entre deux traverses.

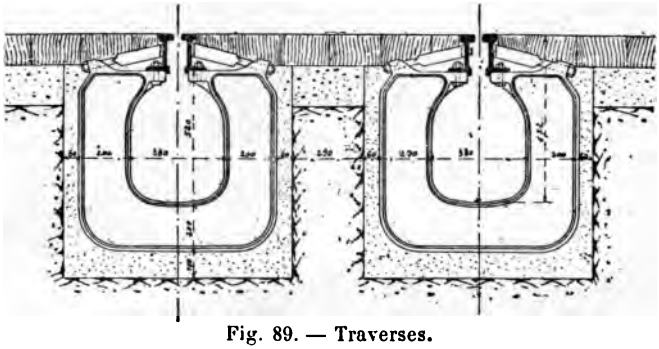


Fig. 89. — Traverses.

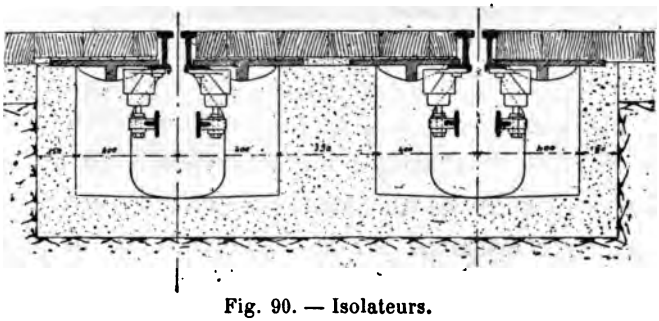


Fig. 90. — Isolateurs.

les égouts. On a établi, entre les deux caniveaux, un puisard de 60 cm de largeur dans lequel s'accumulent les

matières solides qui pénètrent par la rainure. L'évacuation des eaux se fait par un tuyau en fonte, à soupape, disposé de façon à arrêter les émanations et que l'on peut visiter en ouvrant un tampon de fermeture.

Le caniveau de Berlin prolonge, dans l'intérieur de la

Fig. 91. — Vue générale du caniveau.

ville, une ligne établie dans les faubourgs avec conducteurs aériens et trolley. Pour pouvoir passer de l'une à l'autre section, on a combiné un appareil de prise de courant qui peut pénétrer aisément par la rainure. C'est un plateau autour duquel peuvent tourner deux frotteurs. Quand ces frotteurs sont rabattus le long du plateau, l'ensemble occupe, en épaisseur, moins de 30 mm, ce qui permet l'introduction du système dans le caniveau. Dès que les frotteurs ne

sont plus retenus par la rainure, des ressorts les font tourner et les appliquent contre les conducteurs. Pour enlever l'appareil il suffit de tirer le plateau verticalement. Les frotteurs

Fig. 92. — Aiguillage avec caniveau axial.

se rabattent d'eux-mêmes le long de cette pièce et passent par la rainure.

Le caniveau de Berlin a été appliqué par la société française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston,

mais avec un certain nombre de modifications, à diverses lignes de tramways de Paris (Saint-Ouen-Champ-de-Mars, Étoile-Montparnasse, etc...)

Les figures 88, 89 et 90 représentent ce caniveau,

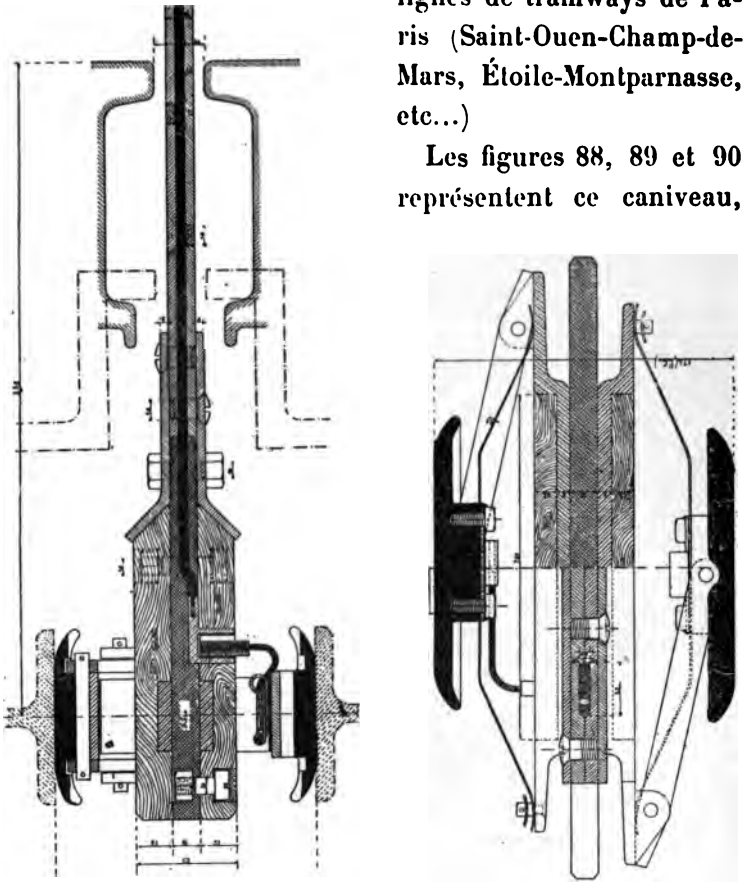


Fig. 93. — Frotteur. — Élévation et plan.

en coupe entre deux traverses, sur une traverse, à l'emplacement d'un isolateur.

Comme à Berlin le caniveau est placé sous les rails les plus voisins de l'entre-voie (fig. 91).

La ville de Paris, qui avait accepté à titre d'essai le caniveau axial, pour Charenton-Bastille, a exigé, pour les nouvelles installations, un caniveau axial.

Mais la compagnie exploitante a pu obtenir qu'aux aiguillages le caniveau serait placé dans l'axe de la voie, comme le montre la figure 92. La construction des aiguillages s'en est trouvée notablement facilitée et l'on a pu se rapprocher des dispositions précédemment indiquées pour le caniveau Connett.

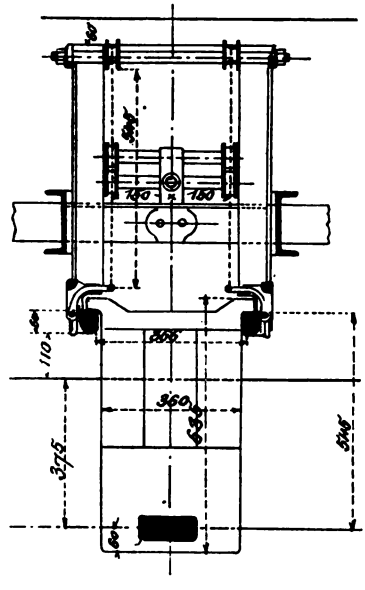


Fig. 94.
Glissière pour le frotteur.

Le frotteur (fig. 93) a dû être combiné à la fois pour le caniveau axial et pour le caniveau latéral. A cet effet, comme le montre la figure 94, on l'a muni de deux oreilles s'appuyant sur des glissières placées sous la voiture perpendiculairement à la voie. Grâce à cette disposition le frotteur se déplace à la demande de la rainure pour occuper la position indiquée par la figure 95.

Il est d'autre part relié à la borne de prise de courant des moteurs par un fil flexible.

On a également muni les voitures d'un dispositif permettant de soulever le frotteur en vue de son extraction du caniveau.

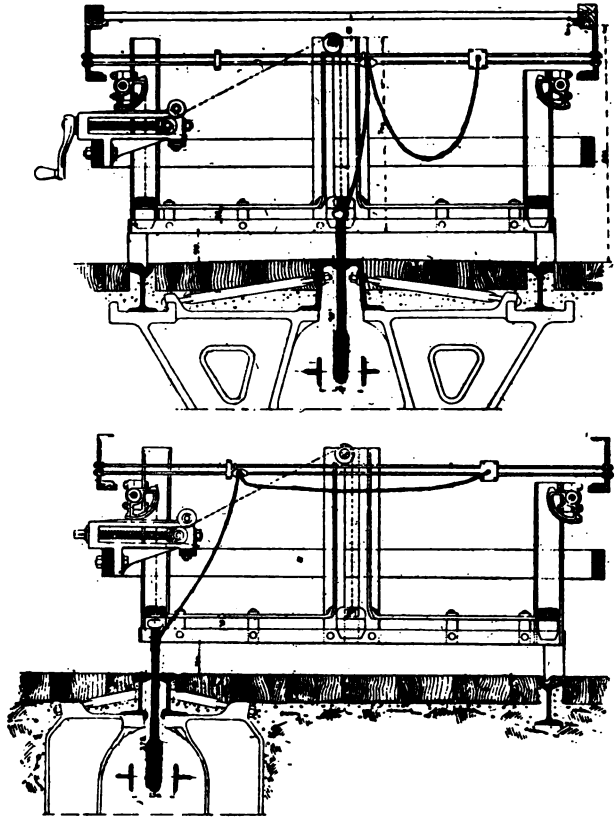


Fig. 95. — Déplacement du frotteur.

Cette extraction ne se fait qu'en des points déterminés. En ces points le rail-rainure est supprimé et remplacé par deux couvercles en fonte striée de 1 m. de longueur. Ces cou-

vercles peuvent être soulevés à l'aide d'un jeu de leviers placés dans une chambre en maçonnerie (fig. 96).

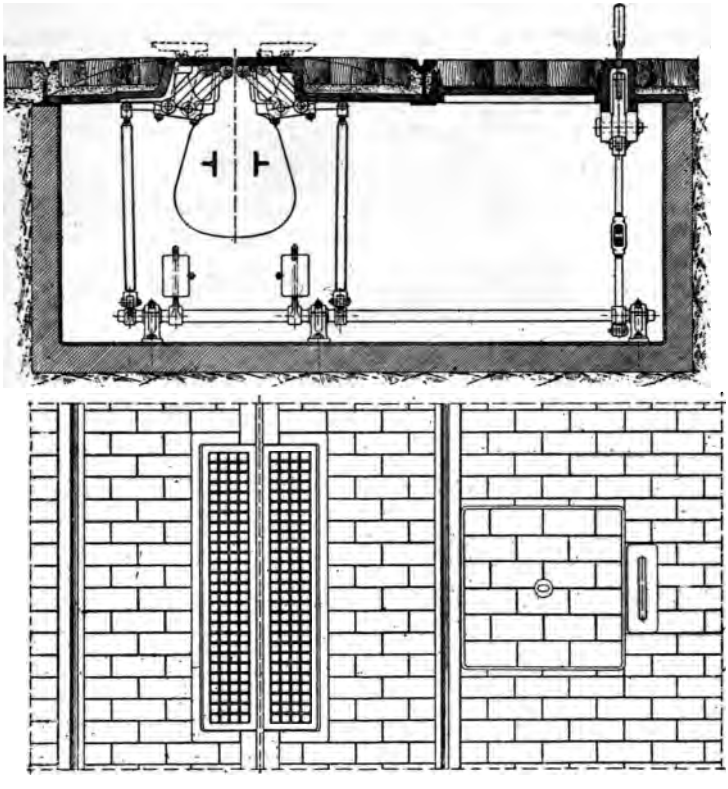


Fig. 96. — Chambre pour l'extraction des frotteurs

Ce sont évidemment là des dispositions très coûteuses et l'on ne peut pas s'étonner, après avoir examiné toutes les sujétions d'une ligne à caniveau souterrain, de la dépense élevée que comporte ce système de distribution.

Système Hœrde. — En combinant ce système, la *Société anonyme des Usines de Hœrde* a eu en vue de construire un caniveau notablement plus économique que ceux qui sont employés d'ordinaire pour la traction par conducteurs souterrains.

D'abord elle a supprimé tout canal en béton et le caniveau

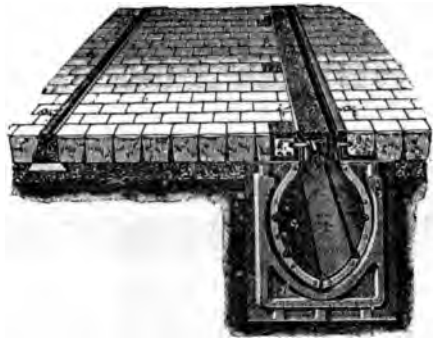


Fig. 97. — Caniveau Hœrde.

proprement dit, qui est en tôle, repose simplement sur le sol, comme une conduite d'eau.

Ensuite elle fait revenir le courant par les rails, comme dans une ligne à trolley.

Le canal, dont la forme est ovoïde (fig. 97), a 22 cm de largeur et 51 cm de hauteur, entre le fond et les bords de la rainure. Celle-ci, qui a 30 mm de largeur, est formée par un rail de roulement et par un rail de forme spéciale, à surface striée, boulonné sur le bord du canal. Ce rail rappelle, comme le montre la figure, le rail-rainure du système Love. On conçoit qu'en le déboulonnant on puisse visiter assez rapidement tout l'intérieur du caniveau.

Afin d'éviter la bande glissante que forme le rail-rainure

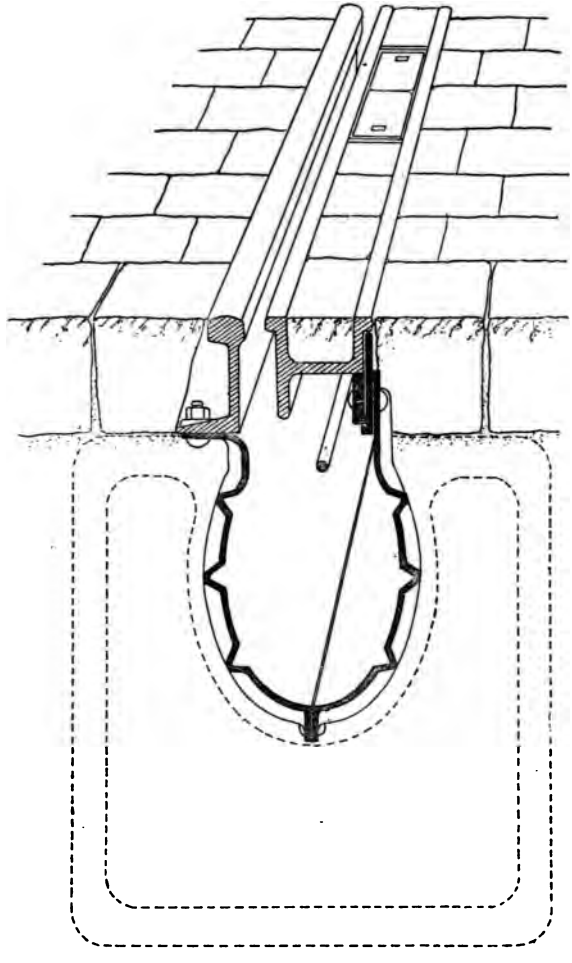


Fig. 98. — Nouveau caniveau Hœrde.

à la surface de la chaussée, la Société des usines de Hœrde

adopte, dans ses nouveaux types (fig. 98), un rail-rainure à auget qu'elle recouvre avec des pavés ou avec de l'asphalte.

Les isolateurs qui supportent le conducteur souterrain sont

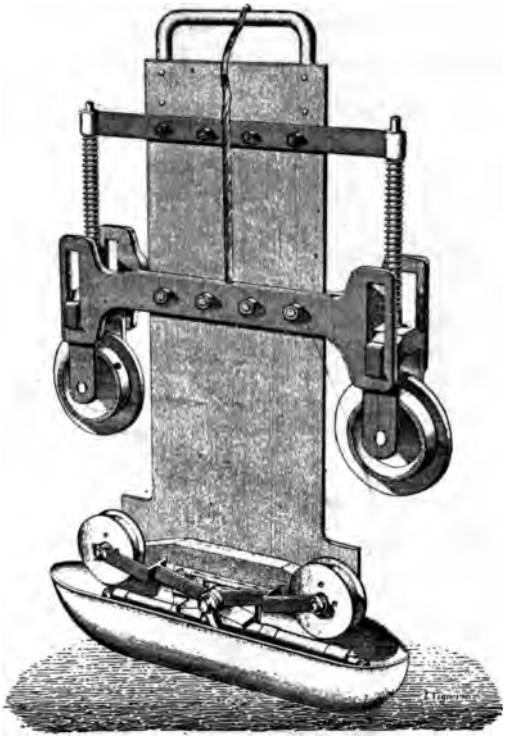


Fig. 99. — Système Hœrde. — Appareil pour la prise de courant.

en porcelaine. Ils portent, à leur partie supérieure, une saillie en forme de queue d'aronde par laquelle ils sont fixés à des boîtes en fonte que l'on peut inspecter en ouvrant un couvercle arasé au niveau de la chaussée.

Pour que le canal métallique puisse être posé sans fonda-

tion dans le sol, il faut qu'il soit très résistant. Aussi est-il constitué par des plaques en tôle d'acier plissé de 5 mm d'épaisseur. Et, tous les 1,5 m, il est consolidé par des cadres également en tôle d'acier, de 7 mm d'épaisseur, ayant 0,62 m de largeur et 0,65 m de hauteur.

Une objection que l'on peut faire immédiatement au système, c'est que le caniveau, au contact des eaux d'infiltration ou de pénétration, pourra se rouiller et se détériorer. La Société estime que cet inconvénient n'est pas à redouter, étant donné que toutes les pièces qui peuvent craindre l'oxydation sont placées, avant leur expédition, dans un four à réchauffer, puis plongées dans un bain d'asphalte et de goudron.

Le trolley présente cette disposition particulière (fig. 99), qu'il roule sur les rails par des galets, en même temps que la voiture se déplace. On remarquera, en outre, qu'il est garanti, à sa partie inférieure, par une sorte de bateau, dont le but, est d'empêcher l'eau d'atteindre les pièces de contact, dans le cas où le caniveau viendrait à être accidentellement envahi.

Bien entendu le caniveau doit être relié de distance en distance avec les égouts.

Le caniveau Hœrde pèse 160 kg par mètre courant.

Caniveau à conducteur flexible, système Waller-Manville [1] — Nous citons ce système, surtout parce qu'il utilise une

[1] *Bulletin de la Société des ingénieurs civils de France.* Octobre 1895.

disposition originale, que nous n'avons rencontrée dans aucun des caniveaux que nous venons d'examiner. Le conducteur, au lieu d'être rigide, est constitué par un fil reposant sur des crochets placés dans le caniveau, tous les 10 m.

L'appareil de prise de courant porte un autre crochet, qui peut passer au-dessus du premier et qui soulève le fil de

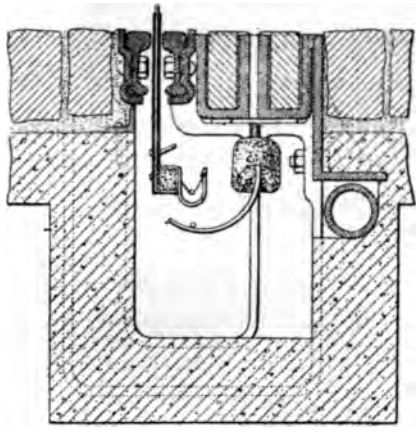


Fig. 100. — Caniveau à conducteur flexible, système Waller-Manville.

quelques centimètres. Il peut, dans ces conditions, circuler librement dans le caniveau, tout en maintenant son contact avec le conducteur. Au fur et à mesure qu'il s'éloigne, le fil s'abaisse et finit par retomber sur le crochet fixe. Bien entendu, ce crochet est isolé. De petits regards ménagés sur la chaussée le long des rails (qui forment ici la rainure) en permettent la visite.

Comme dans tous les systèmes à un conducteur, le retour du courant se fait par les rails.

Galerie visitable. — Cette galerie avait été prévue pour l'alimentation d'un tramway, à voie de 1 m, projeté entre la place Cadet à la porte de Montmartre (Paris). Elle a la forme d'une galerie d'égout coupée au niveau des naissances. La voûte est ici remplacée par des poutrelles en fer de 20 cm de hauteur (fig. 101 et 102) reposant sur les piédroits par l'intermédiaire de semelles en fonte et que réunissent des voûtes en briques. L'espacement de ces poutrelles est de 1 m. La hauteur libre de 1,7 m, qui existe entre le fond du radier et le sommet des voûtes, permet à un homme de se tenir debout dans la galerie et d'y circuler librement. De plus, pour faciliter le transport des matériaux, on a disposé dans les piédroits, des saillies munies de fers cornières qui constituent une petite voie de roulement pour des wagonnets.

Le caniveau proprement dit est formé par des pièces d'acier découpées, rivées sur les poutrelles et laissant entre elles un espace libre de 13 cm de largeur sur 20 cm de hauteur. Cet espace est suffisant pour que l'on puisse y loger les deux conducteurs d'aller et de retour. Ceux-ci sont en acier et en forme d'un U renversé. Ils sont supportés par des isolateurs fixés aux poutrelles.

On a profité, avec raison, de la place dont on dispose dans la galerie pour y loger les feeders d'alimentation. Ceux-ci communiquent avec les conducteurs de distribution tous les 100 m.

La figure 101 représente une coupe de la galerie dans une partie à double voie. L'axe coïncide avec l'axe de l'entre-voie. Les caniveaux qui contiennent les conducteurs sont pla-

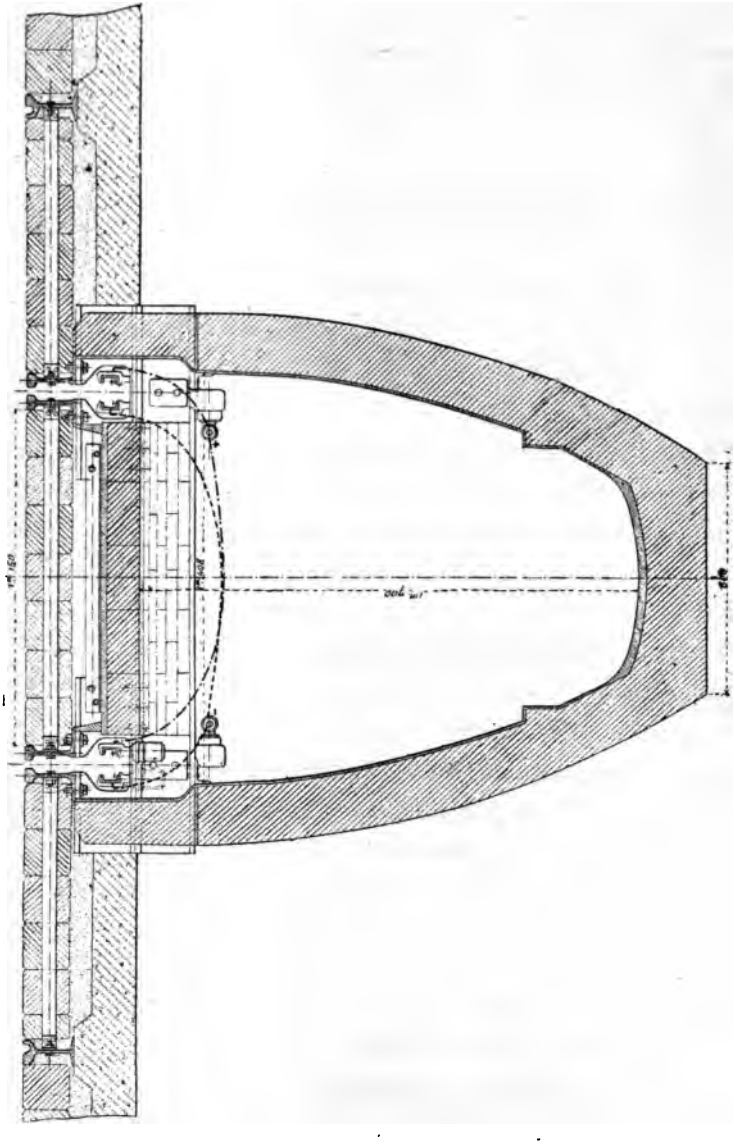


Fig. 101. — Galerie visitable. — Coupe transversale.

cés sous les rails intérieurs qui forment eux-mêmes la rainure par laquelle pénètrent les frotteurs.

Dans les parties à simple voie, la galerie conserve la même forme et les mêmes dimensions; mais, naturellement, il n'existe qu'un seul caniveau.

On conçoit qu'un tel système de distribution doive être

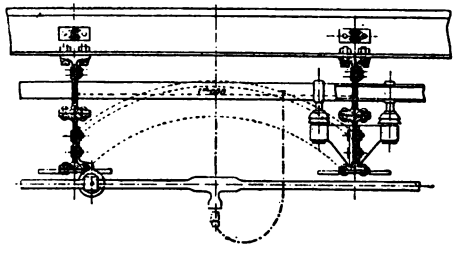


Fig. 102.
Galerie visitable. — Coupe longitudinale suivant l'une des rainures.

notablement plus coûteux que ceux que nous avons étudiés jusqu'ici [1]. En outre, dans les rues de largeur moyenne et où les égouts sont généralement situés dans l'axe des chaussées, c'est-à-dire dans l'axe même du tramway, on est forcément amené, pour pouvoir construire la galerie, à déplacer ces égouts ou à les approfondir. On peut être gêné, également, par les conduites d'eau ou de gaz.

Aussi, un tel système ne paraît-il admissible que dans les rues à circulation excessivement intense.

On pourrait cependant le simplifier notablement, en rétrécissant un peu la galerie et en ne lui donnant qu'une

[1] Voir chapitre XI pour les dépenses.

hauteur de 90 cm environ, suffisante pour qu'un homme puisse y circuler, assis sur un chariot bas.

Ce qu'il faut surtout rechercher, dans un caniveau, c'est de pouvoir accéder facilement aux isolateurs, afin de les visiter périodiquement et de les changer rapidement s'ils venaient à brûler ou à se détériorer. Or, pour cette besogne fort simple, on n'a pas besoin de pouvoir se promener dans une galerie comme dans un égout.

Une petite galerie, combinée d'après ces principes, reviendrait, en somme, sur les lignes à double voie, à un prix comparable à celui du double caniveau, tout en offrant un coefficient de sécurité beaucoup plus grand.

CHAPITRE V

TRAMWAYS A CONTACTS SUPERFICIELS

Considérations générales. — Système Claret et Vuilleumier. — Système de la Westinghouse Company. — Système Thomson-Houston. — Système Diatto. — Système Dolter.

Considérations générales. — Comme on l'a indiqué au chapitre premier, ce système est caractérisé par des plots ou pavés de contact établis sur la chaussée et sur lesquels les voitures prennent leur courant à l'aide de frotteurs. Le courant va de là aux moteurs et revient à l'usine par les rails.

Ces plots sont en communication par des branchements avec un câble souterrain à 500 volts : mais, par un dispositif spécial, ils ne sont et demeurent électrisés que pendant le temps où ils sont couverts par la voiture.

L'espacement des plots doit être au plus égal à la longueur d'une voiture. Sans cela, comme les frotteurs sont forcément limités dans ce gabarit, il y aurait un moment où le courant ne parviendrait plus aux moteurs. En général l'espacement varie de 2,50 m à 5 mètres. Dans les courbes, le rapprochement est plus considérable, en même temps que l'on donne aux plots une largeur transversale plus grande, pour tenir compte des déplacements latéraux des frotteurs.

Les appareils qui mettent les plots en charge au moment voulu sont situés ou sous les trottoirs et, dans ce cas, ils commandent généralement plusieurs plots, ou sur la chaussée, à raison d'un appareil par plot.

Les inconvénients d'un tel système sont évidents.

D'abord il nécessite un nombre excessif de branchements, et l'on sait que, dans une distribution électrique, des branchements constituent toujours des points faibles.

Ensuite les plots ne peuvent être mis en charge que par des contacts se fermant quand la voiture arrive sur eux et s'ouvrant dès qu'elle les quitte. Or un contact mobile n'est pas chose facile à réaliser. Il faut, en particulier, qu'il puisse supporter des débits très variables et qu'il ne permette pas à un arc de se former, au moment de la rupture du circuit.

Ce qui fait le grand mérite de la traction par trolley, c'est que le contact entre la roulette et le fil aérien est continu. On retrouve un avantage identique dans la traction par caniveau.

Si donc le système que nous étudions en ce moment paraît, à première vue, plus simple que les deux précédents, il est, en revanche, notablement plus compliqué et plus fragile.

Il a encore l'inconvénient, en cas de mauvais fonctionnement, d'exposer les piétons à recevoir un choc à 500 volts. Évidemment la résistance du corps humain assure une immunité suffisante contre une telle tension ; mais les chevaux qui ont la malchance de poser le pied sur un plot électrisé — surtout quand ils en ont un autre sur les rails — sont

assez facilement foudroyés, leur résistance intérieure ne leur permettant pas de supporter une tension de 500 volts.

On a, il est vrai, combiné des appareils dit *frotteurs de sécurité*, qui peuvent ou bien révéler au conducteur de la voiture qu'un plot reste électrisé, ou bien couper le courant en faisant fondre un plomb fusible. Ces frotteurs sont distincts des frotteurs de prise de courant et ils viennent en contact avec les plots après que les premiers les ont quittés. Ils sont reliés à la terre et provoquent par conséquent un court-circuit très franc. Malheureusement ils ne fonctionnent pas toujours dans la perfection, ayant, dans certains cas, l'inconvénient de provoquer la formation d'arcs qui endommagent les appareils.

On pourrait craindre qu'au moment où les plots sont en charge et malgré qu'ils soient entourés de matière isolante, il ne se produisît par le sol, surtout quand la chaussée est humide, des dérivations importantes. Mais l'expérience démontre que le sol des rues, même mouillé, n'est qu'un médiocre conducteur de l'électricité. Il en est autrement quand on y jette du sel, pour faire fondre la neige pendant l'hiver. Et, dans ce cas, la conductibilité peut même subsister, le sel pénétrant dans le sol et diminuant alors notablement sa résistance.

Le sol n'est évidemment mauvais conducteur qu'à la condition qu'il ne soit pas traversé par des masses métalliques qui le relient aux rails de roulement. On devra donc écarter les plots des entretoises établies entre les rails, pour les empêcher de se déverser.

Dans un ordre d'idée analogue on a à se préoccuper du passage des frotteurs sur les traversées des autres lignes de tramways. Bien que, théoriquement, les frotteurs se trouvent à 1 ou 2 centimètres au-dessus du sol ils peuvent, soit par des matériaux métalliques qu'ils entraînent, soit à la suite d'un soubresaut de la voiture, venir en contact avec les rails traversant la voie et qui mettent franchement le frotteur à la terre. Un court-circuit se forme et il est alors à craindre que, sous le courant intense qu'ils ont à débiter, les appareils électrisant les plots ne soient gravement endommagés.

On est, pour cette raison, dans l'obligation d'isoler les rails rencontrés, ce qui n'est pas sans présenter de sérieuses difficultés, surtout si la voie que l'on croise est parcourue par de lourdes voitures.

Des excès de débit sont enfin à craindre dans les rampes. On peut y parer, il est vrai, en rapprochant les plots ; mais le système perd alors sa qualité principale, qui est une certaine économie d'installation.

Beaucoup de ces critiques sont très graves.

En fait, si le sytème de tramways à contact a reçu dans ces derniers temps un certain nombre d'importantes applications, cela tient surtout à ce que les compagnies qui l'ont employé — dans l'obligation où elles étaient, d'ailleurs, de renoncer au trolley par suite d'exigences municipales — ont estimé que, vu la faible durée de leur concession, elles ne pouvaient pas aborder la grosse dépense d'une ligne à conducteurs souterrains.

Ces critiques faites, nous reconnaîtrons volontiers que les dispositions préconisées par certains inventeurs sont réellement d'une remarquable ingéniosité et, dans des cas spéciaux, on a pu en être très suffisamment satisfait.

Afin d'atténuer les inconvénients que présente, dans ce système, le retour du courant par les rails on a parfois doublé les plots, la seconde rangée de plots communiquant avec une ligne spéciale de retour.

En France, du moins dans les grandes villes, un tel système ne trouverait probablement pas droit de cité, car il multiplierait, sans qu'il y ait nécessité absolue, les saillies produites par les plots à la surface des voies publiques.

Un grand nombre de systèmes de contacts superficiels ont été proposés. Nous nous bornerons à examiner ceux qui ont été appliqués ou qui ont donné lieu à des essais suivis.

Système Claret et Vuilleumier. — Le système Claret et Vuilleumier a fonctionné pendant plusieurs années, à Paris, sur la ligne de la place de la République à Romainville. Il n'a pas été maintenu quand la ligne a été incorporée dans le réseau de l'Est-Parisien, cette dernière Compagnie ayant adopté pour l'ensemble de ses lignes situées dans Paris un autre système de distribution (Diatto).

Depuis, une nouvelle application a été réalisée sur toute la partie de la ligne Epinay-la-Trinité située dans Paris.

Dans le système Claret et Vuilleumier les pavés de contact sont placés dans l'entrevoie à une distance de 2,50 m à 3 m. Les appareils mettant les pavés en charge, ou *distributeurs*,

sont logés sous les trottoirs dans des boîtes en fonte.

La figure 103 montre la disposition schématique de la distribution. G est la dynamo placée à la station centrale ; son pôle positif est relié au câble armé K placé sous trottoir, son pôle négatif aux rails B, qui forment retour pour le courant.

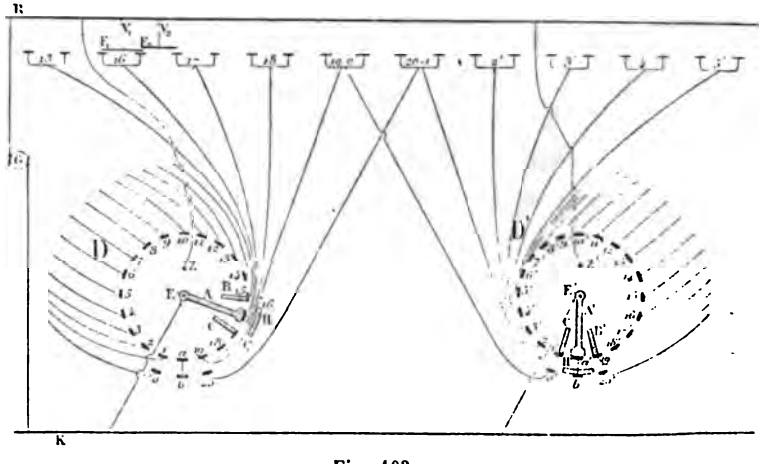


Fig. 103.
Système Claret et Vuilleumier. — Fonctionnement des distributeurs.

D et D′ sont deux *distributeurs* voisins. Chacun d'eux commande 20 groupes de 2 pavés, l'un des groupes (20-1) étant commun aux deux distributeurs[1].

Les distributeurs sont tous identiques. Ils comportent une couronne de contacts 1, 2, 3...., 19, *a* et trois contacts supplémentaires *o*, *b*, 20. La partie mobile est constituée par

[1] On fait également des distributeurs commandant un nombre moindre de plots. Cela dépend de la distance minima que l'on veut observer entre deux voitures consécutives.

quatre frotteurs A, B, C, H reliés mécaniquement, quoique isolés entre eux et tournant autour d'un même axe E. Cet axe, qui appartient au frotteur A, est, d'autre part, constamment relié au câble K, c'est-à-dire, puisque la distribution se fait à 500 volts, qu'il est lui-même à 500 volts.

Marche avant. — Dans la position indiquée par la figure le distributeur D′ est au repos. Le distributeur D met en charge, au contraire, par A et le plot 16, le groupe de pavés de même numéro. Si, à ce moment, la voiture est en V_1, le courant pourra la traverser, grâce au frotteur F_1, et elle se mettra en mouvement vers le groupe de pavés n° 17.

Dans la position F_2, le frotteur est à la fois sur 16 et 17. Le pavé 17 se trouvant ainsi électrisé, il en est de même du contact 17 et par suite du frotteur C. Or, à ce moment, le contact C, grâce à une combinaison que nous allons décrire plus loin, agit sur un électro-aimant qui fait tourner le distributeur d'un cran. A vient en 17, et le groupe de pavés n° 17 se trouve directement électrisé. La voiture avance, envoie une dérivation sur le contact 18, le distributeur tourne d'un cran, électrise les pavés n° 18 et ainsi de suite.

Lorsque le frotteur A est arrivé sur le contact *a*, lequel est relié à *b*, le frotteur H couvre *b* et 20. Le groupe de pavés 20-1 se trouvant électrisé, une dérivation va en C′ et par suite fait avancer d'un cran le distributeur D′. Ce distributeur va donc fonctionner, à son tour, comme le distributeur D et la voiture continuera sa course.

Marche arrière. — Cette marche est assurée par le frot-

teur B, qui agit comme le frotteur C, mais qui fait tourner le distributeur de droite à gauche.

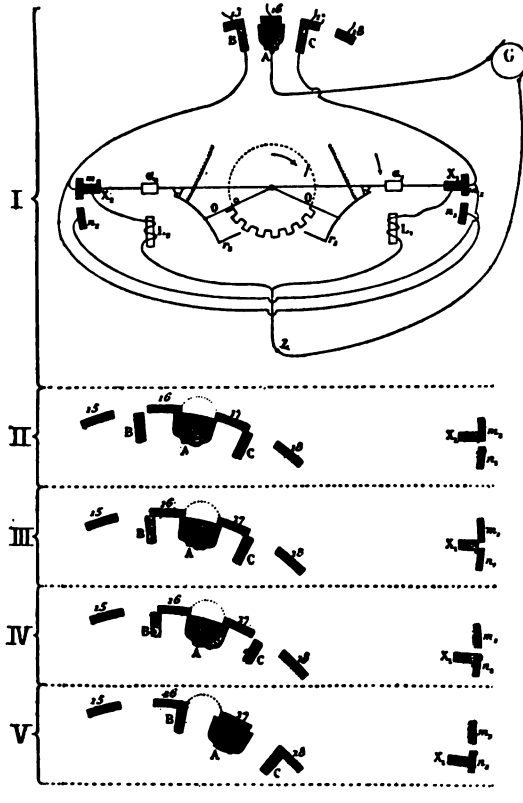


Fig. 104. — Rotation des distributeurs.

Rotation du distributeur. — Ce mouvement est produit comme l'indique la figure 104.

Nous venons de voir que lorsque le frotteur A était sur 16 et la voiture en V_2 une dérivation revenait au frot-

teur C par le groupe de pavés 17 et par le contact 17.

Les diagrammes I et II montrent que le courant va de C au contact M_1, puis au frotteur X_1, puis au point Z qui est relié au pôle négatif de la dynamo (le point Z est également marqué sur la figure 75). Sur son chemin il actionne l'électro-aimant L_1, lequel attire alors l'armature A_1 et par suite tout le bras X_1 a_1 a_2 X_2 qui tourne autour de l'axe du distributeur. Dans ce mouvement, le cliquet r_1 s'engage dans la roue dentée O et la fait tourner, en entraînant les frotteurs A, B, C, H avec lesquels elle est solidaire.

Mais on ne peut faire ainsi tourner ces frotteurs que d'un demi-cran puisque (ainsi que le montre le diagramme n° IV) le frotteur C n'est plus électrisé, lorsque A est à cheval sur les contacts 16 et 17. C'est alors qu'intervient le frotteur B, lequel établit une dérivation par n_1 X_1 L_1 Z_1. Cette fois, c'est le cliquet r_2 qui agit.

Quand le frotteur A est arrivé exactement sur 17, on retrouve le diagramme I, sauf que tous les frotteurs ont tourné d'un cran. Le courant de l'électro L_1 est alors interrompu et, grâce à des ressorts, le bras X_1 X_2 revient dans sa position primitive. L'électro L_2 sert pour la marche en arrière.

Croisements (fig. 105). — On place un pavé de contact au centre de la croisée et on fait le groupement des pavés deux par deux entre eux et avec les contacts de distributeurs, en traitant chaque ligne comme si l'autre n'existait pas.

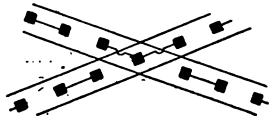


Fig. 105. — Croisement.

Aiguillage. — La figure 106 montre une disposition d'aiguillage. La voie simple est commandée par le distributeur D, les deux voies de bifurcation par les distributeurs D′ et D″. L'appareil Y est une aiguille électrique qui met le contact 20 en communication soit avec les pavés 20-1′, soit avec les

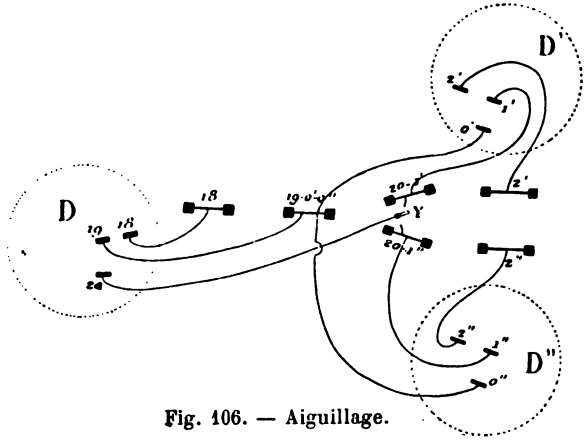


Fig. 106. — Aiguillage.

pavés 20-1″. On la pousse du côté sur lequel (en prenant l'aiguille en pointe) on veut se diriger.

Quand on vient de la bifurcation sur la voie simple, la manœuvre de l'aiguille est inutile, comme il est facile de le voir, à l'inspection de la figure.

Pavés de contact. — Les pavés de contact sont en fonte avec couvercle en acier (fig. 107). Ce dernier, qui a été combiné par M. Vuilleumier, peut être mis en place et enlevé très rapidement. On en fait de différentes épaisseurs, afin de pouvoir corriger, s'il y a lieu, les petits tassements que subiraient les plots.

Le courant vient, par un fil isolé, à une borne placée dans l'intérieur des plots. Une sorte de peigne mobile, à ressorts, assure une jonction parfaite entre la borne et le couvercle.

La saillie des pavés sur la chaussée n'est que de 5 mm. Des épauffrements latéraux la rendent encore moins sensible.

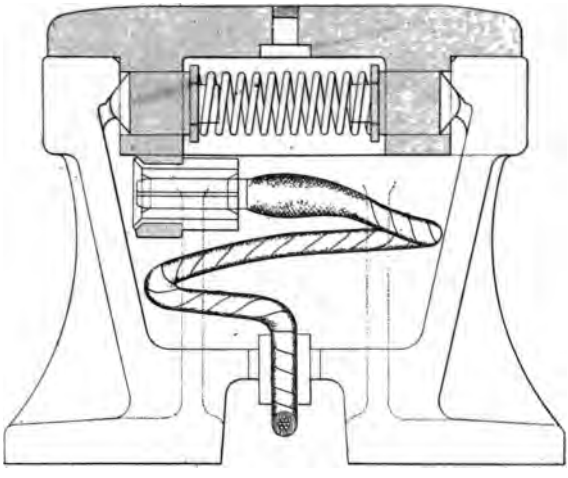


Fig. 107. — Pavé de contact.

Ces pavés sont noyés dans une masse isolante, formée de brai et de bitume.

L'alimentation est assurée par un fil isolé, logé dans une rainure où l'on coule également un mélange de brai et de bitume.

La figure 108 est une coupe transversale de la voie, montrant l'arrivée des fils d'un distributeur. Ceux-ci, au nombre de 20, sont isolés au caoutchouc et réunis dans un tuyau en fonte C. Entre les rails court un autre tuyau en fonte D

d'où s'échappent, finalement, les fils alimentant les pavés.

Les frotteurs n'ont rien de particulier ; ce sont de longues barres en acier accrochées sous la voiture par une suspension isolée. Elles sont prolongées par un *frotteur de sécurité*. C'est une deuxième barre, moins longue que la première et qui communique par les roues avec les rails de retour. Si un

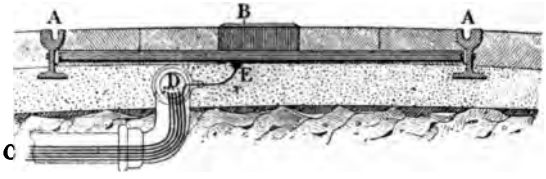


Fig. 108. — Coupe transversale de la voie.

plot reste électrisé il y a court-circuit et un plomb fusible, placé dans le distributeur, interrompt le courant.

Les traversées des voies des autres Compagnies doivent être isolées. Sans cela les barres, en venant en contact avec elles, occasionneraient un court-circuit.

Système de la Westinghouse Company. — Le système que préconise la Westinghouse Company et qui a été appliqué par elle à Washington et dans ses ateliers de Pittsburg comporte des organes de distribution plus nombreux, mais un peu plus simples que ceux du système Claret et Vuilleumier.

Les pavés, qui sont remplacés ici par des boutons de contact, sont doubles. Chaque groupe est commandé par un distributeur spécial que l'on peut placer dans l'entre-voie ou sous les trottoirs. La voiture est munie de deux frotteurs,

à raison d'un par bouton. L'un de ces frotteurs E_1 est relié au pôle positif d'une petite batterie d'accumulateurs, portée par la voiture et dont le pôle négatif est à la terre (rails) ; et l'autre F_2 communique avec le moteur dont le second pôle est également à la terre par les rails.

Le *distributeur* présente schématiquement (fig. 109) un

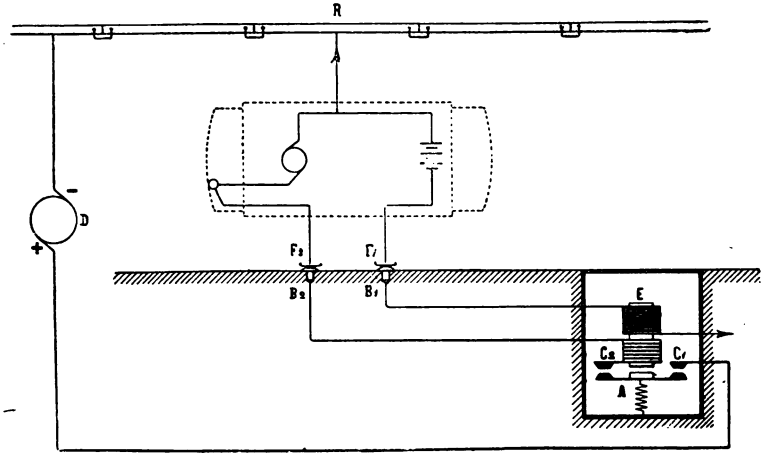


Fig. 109. — Système de la Westinghouse Company. — Fonctionnement des distributeurs.

électro-aimant E, qui peut attirer une armature A munie de deux contacts en charbon. Dans la boîte du distributeur se trouvent également deux autres contacts C_1 et C_2. Le premier communique par un câble isolé avec le pôle + de la dynamo génératrice; l'autre est relié au bouton B_2 par un fil à grosse section qui s'enroule, avant de quitter la boîte, sur la partie inférieure de l'électro-aimant. L'enroulement supérieur de l'électro-aimant est formé par un fil

allant d'une part au bouton B_1 et d'autre part à la terre[1].

On voit, dans ces conditions, comment fonctionne le système. Quand la voiture arrive dans la position représentée par la figure, la batterie d'accumulateurs actionne par le frotteur F_1 l'électro-aimant du distributeur. Aussitôt les contacts C_1 et C_2 se ferment et le bouton B_2 se trouve mis en charge. Comme, à ce moment, le frotteur F_2 est sur B_1 le courant de la dynamo génératrice peut arriver au moteur et faire avancer la voiture. Au préalable il a traversé l'enroulement à gros fils de l'électro-aimant. Il a donc renforcé l'action de l'enroulement à fil fin et serré énergiquement les contacts[2].

Dès que les frotteurs F_1 et F_2 ont quitté les boutons B_1 et B_2, la force attractive de l'électro-aimant disparaît ; l'armature A attirée par un ressort se dégage et les contacts se trouvent rompus. Mais si, à cet instant, la voiture se trouve déjà sur les boutons voisins elle sera alimentée par le distributeur suivant et pourra continuer sa course. Il suffit, pour obtenir ce résultat, que les frotteurs soient un peu plus longs que l'intervalle qui sépare deux groupes de contact consécutifs.

Les appareils constituant le distributeur sont doublement protégés; d'abord par une cloche en fonte qui repose sur un

[1] En réalité, les deux boutons B_1 et B_2 sont dans un même plan normal à la voie ; nous les avons ramenés dans le plan longitudinal de la figure pour la commodité de la démonstration.

[2] A Washington le fonctionnement de l'appareil est un peu différent. Le courant de la batterie d'accumulateurs se ferme par les boutons B_1 et B_2. Mais le principe est le même.

fond en fonte avec bords à augets remplis d'huile, ensuite

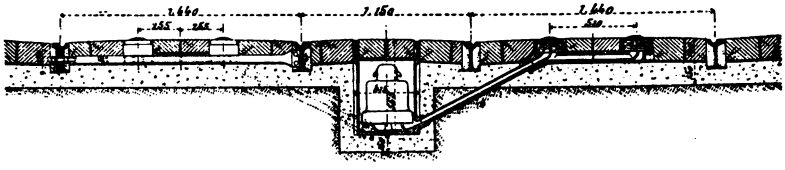


Fig. 110. — Coupe transversale de la voie.

par une boîte en fonte munie d'un couvercle qui, lorsqu'il est placé sur la chaussée, reçoit une garniture de pavés de bois (fig. 110).

Une des qualités de l'appareil c'est que l'on peut retirer à peu près instantanément l'électro-aimant et le changer s'il est nécessaire. Les connexions se rétablissent d'elles-mêmes quand on met l'électro-aimant en place.

La figure 111 donne la coupe longitudinale d'un distributeur. Le câble de charge (câble armé) passe par des ouvertures pratiquées à la partie inférieure.

Entre les distributeurs et les boutons de contact le courant circule dans des conducteurs isolés, protégés par un tuyau en fonte.

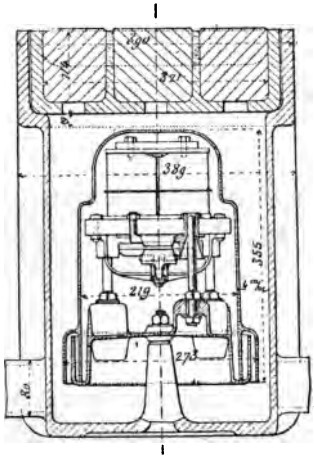


Fig. 111. — Coupe longitudinale d'un distributeur.

Les boutons sont en acier quadrillé; ils ont une hauteur de 1 cm et un diamètre de 10 à 12 cm. Comme on peut être amené à les changer assez fréquemment ils sont simplement

vissés dans une sorte de boulon en fer relié au distributeur. L'ensemble est emprisonné dans un bloc isolant (terre cuite, granit, etc...), encastré dans un moule en fonte (fig. 112).

Les boutons et leurs accessoires se posent directement sur béton, et, dans ce cas, ils sont maintenus par les pavés environnants. On peut aussi les relier aux entretoises.

Les *croisements* et les *aiguillages* se font sans difficulté, puisque chaque groupe de boutons de contact est indépen-

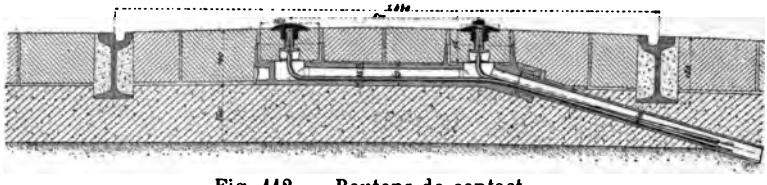


Fig. 112. — Boutons de contact.

dant et a son distributeur spécial. Dans les *courbes* on rapproche les boutons de contact ou on augmente légèrement leurs dimensions transversales.

Avec les dispositions précédemment indiquées le retour du courant se fait par les rails. Si l'on voulait avoir un conducteur spécial pour ramener le courant à l'usine il suffirait d'ajouter un troisième bouton et un troisième frotteur et de modifier légèrement le distributeur.

On peut reprocher au système de la Westinghouse Company de comporter un nombre trop considérable de distributeurs. C'est évidemment un inconvénient. En revanche, chaque voiture est beaucoup plus indépendante que dans le système Claret et Vuilleumier. En effet, dans ce système, deux voitures ne doivent jamais s'engager sur une même section

de distributeurs, et quand un distributeur s'arrête la voiture qu'il alimente doit également s'arrêter jusqu'à ce que l'on ait remis l'appareil en mouvement. Au contraire, avec les dis positions de la Westinghouse Company les voitures peuvent se rapprocher jusqu'à se toucher et, si un contact est défec tueux, elles arrivent facilement à le franchir en profitant de la vitesse acquise.

Système Thomson-Houston. — Ce système, dont il a été fait application au tramway de Monte-Carlo rappelle un peu

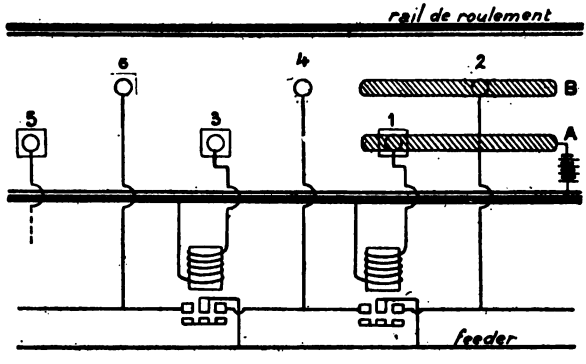


Fig. 113. — Système Thomson Houston. — Schéma des circuits.

le système Westinghouse. Mais les distributeurs sont logés, par série de 22, dans une fosse de 2m,10 de profondeur, de 2,60 m de longueur et de 1,60 m de largeur.

La figure 113 montre quel est le fonctionnement général du système. Il y a deux rangées de pavés placées chacune à 0,30 m du rail le plus voisin. L'une de ces rangées est dite à

bas potentiel (pavés 1, 3, 5...) et l'autre à potentiel de 500 volts (pavés 2, 4, 6,...).

Les voitures sont munies de deux frotteurs passant, l'un, A, sur les pavés de rang impair, et l'autre, B, sur les pavés de rang pair. C'est le dernier frotteur qui communique avec les moteurs.

Pour bien comprendre le fonctionnement du système nous partirons d'abord de la position de repos. A ce moment la barre A est traversée par le courant d'une petite batterie d'accumulateurs placée sur la voiture. Ce courant passe par le pavé 1 et traverse le circuit inducteur d'une bobine qui attire une armature en fer portant deux contacts en charbon. Le but de cette armature est de mettre les pavés 2 et 4 en communication avec un feeder à 500 volts. La barre B se trouve alors à 500 volts et le courant va, de là, dans les moteurs, puis à la barre A, puis dans l'électro-aimant de l'inducteur et revient à l'usine par les rails.

A partir de ce moment l'action attractive de l'électro-aimant est exercée par le courant même du moteur. La voiture avançant, c'est le pavé 3 qui intervient et qui met les pavés 4 et 6 en charge; en même temps le pavé 2 revient à l'état neutre.

Les dispositions du matériel roulant sont telles que les pavés électrisés sont toujours couverts par les voitures. La distance des pavés est de 3 m.

Nous avons déjà appelé l'attention sur les arcs que forment les distributeurs des tramways à contact, au moment de la rupture du courant. Pour en atténuer les effets on a dis-

posé dans les distributeurs un souffleur magnétique qui intervient au moment de la rupture. Ce complément était d'autant plus utile, à Monte-Carlo, que les voitures ont à gravir une rampe de 9 centimètres par mètre et que par suite les distributeurs ont à écouler des courants très intenses.

Système Diatto. — Dans le système Diatto l'appareil distributeur est placé dans le plot même et il y a un appareil par plot.

A cet effet le plot — qui est constitué par un gros bloc

Fig. 114. — Système Diatto. Plot et couvercle.

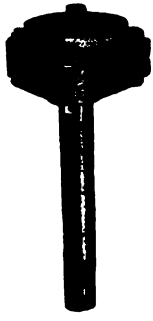


Fig. 115. — Système Diatto Distributeur, vue extérieure.

d'asphalte ou de matière analogue de 40 cm/40 cm (fig. 114) — est évidé à sa partie centrale suivant un cylindre de

15 cm de diamètre, fermé à sa partie supérieure par un tampon en métal, et c'est dans ce cylindre que se trouve l'appareil distributeur (fig. 115).

Celui-ci est essentiellement constitué par un gros clou mobile qui, par sa base, est toujours relié à une source

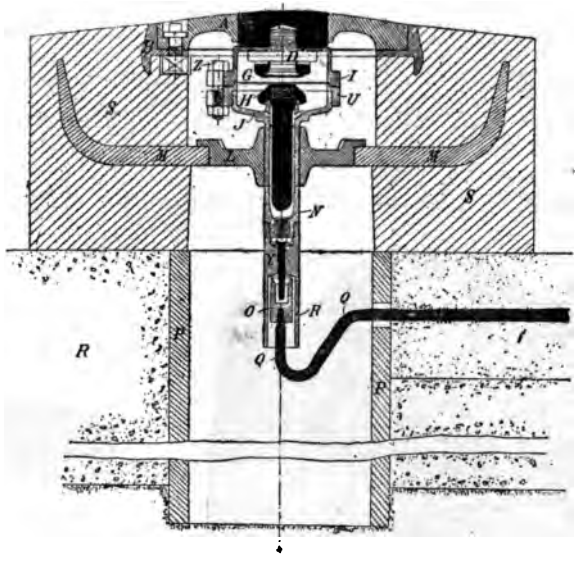


Fig. 116. — Système Diatto. — Coupe transversale sur un distributeur.

d'électricité à 500 volts et qui, sous l'action de la force attractive des frotteurs, se soulève verticalement et vient électriser le tampon (fig. 116).

Quand la voiture n'est plus sur le plot l'action attractive cesse, le clou retombe par l'effet de son poids et l'électrisation du tampon disparaît.

On a eu l'idée, pour faciliter le déplacement du clou, de le

faire baigner, à sa base, dans une petite masse de mercure. Celui-ci, étant liquide, exerce sur le clou une poussée verticale, conformément au principe d'Archimède, et cette poussée s'ajoute à l'action attractive produite par les frotteurs.

D'autre part, le mercure étant, comme on le verra plus loin, à 500 volts, la continuité du circuit se trouve assurée, malgré le mouvement ascensionnel du clou. Il faut, bien entendu, pour cela, que la couche de mercure ait une hauteur telle que le clou baigne encore dans ce métal, même quand il est soulevé.

Le clou est guidé dans son mouvement par un cylindre en ambroïne, s'évasant à sa partie supérieure en forme de coupe. C'est ce cylindre qui contient également le mercure.

Le contact se produit avec une rondelle en charbon se prolongeant par une vis à travers le tampon. Le charbon intervient ici pour éviter les dégradations que produiraient l'établissement et la rupture du contact si les surfaces venant à se toucher étaient simplement métalliques. Dans le même ordre d'idée on munit également la tête du clou d'un petit chapeau en charbon.

Comme le montre la figure 116 la coupe en ambroïne vient se visser dans un couvercle en laiton qui est lui-même soutenu par la vis de contact. On peut donc, en soulevant le tampon du plot, soulever en même temps tout l'appareil distributeur.

Quant au tampon, il est également d'un déplacement très facile, n'étant fixé sur son siège que par trois vis que l'on peut desserrer avec une clé.

Grâce à cet ensemble de dispositions on peut, en quelques minutes, enlever un appareil hors d'usage et le remplacer par un autre venant de l'atelier.

L'action attractive du clou est exercée par une grande barre placée sous la voiture, comme l'indique la figure 117, et qu'aimantent de forts électro-aimants. Ces électro-aimants

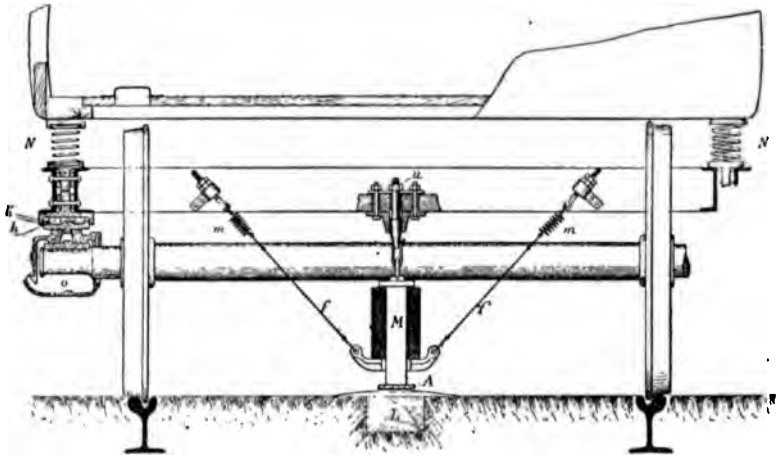


Fig. 117. — Système Diatto. — Suspension de la barre aimantée.

sont eux-mêmes excités soit par une petite batterie d'accumulateurs placée sur la voiture, soit par le courant de la voiture, celui-ci, avant de se rendre aux moteurs, traversant la barre, puis les électro-aimants.

Avec une seule barre le magnétisme se fermerait par l'air et serait, par suite, fortement diminué. Aussi, comme il est capital que le clou soit attiré franchement et qu'il assure avec le plot un contact énergique, on emploie trois barres

(fig. 118), la barre centrale formant pôle nord et les deux barres latérales pôle sud. D'autre part, le clou et le cy-

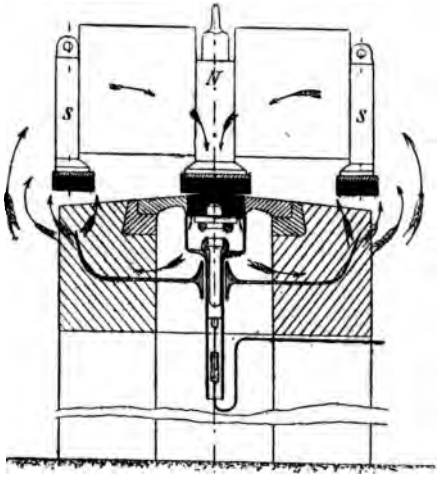


Fig. 118. — Système Diatto. — Action de la barre aimantée.

lindre qui le renferme sont entourés par une sorte de collier métallique, muni d'ailettes qui pénètrent dans le

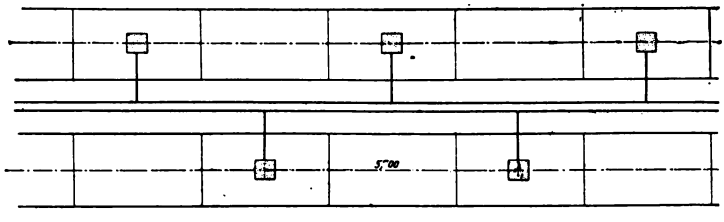


Fig. 119. — Plan de la voie Diatto.

plot, en se recourbant vers les barres latérales. Ces dispositions permettent au circuit magnétique de s'établir

facilement et l'action attractive est alors notablement amplifiée.

Le câble à 500 volts (câble de travail) est placé dans l'entrevoie (fig. 119).

Quant à sa jonction avec l'appareil elle se fait comme il suit : le câble de branchement se recourbe dans le plot

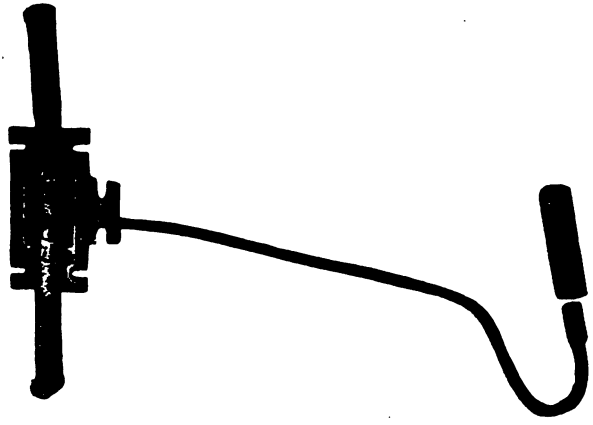


Fig. 120. — Système Diatto. — Branchement.

et présente à son extrémité un petit godet rempli de mercure (fig. 120). Ce godet peut pénétrer dans la partie inférieure du cylindre en ambroïne et venir en contact avec une tige en fer, traversant le fond du cylindre et communiquant avec le mercure entourant le clou.

Par le fait même que l'on amène le godet en contact avec la tige, le contact se trouve établi. Son maintien est assuré par le fil de branchement lui-même, lequel, en raison de sa courbure, agit comme un ressort.

Tout cet ensemble est évidemment très ingénieusement combiné.

Mais certaines précautions sont à prendre.

D'abord il ne faut pas que l'eau du sous-sol puisse remonter jusqu'au godet de contact. On avait cru, d'abord, que l'on pourrait se débarrasser de l'eau simplement en installant sous le plot un tuyau en poterie, noyé à sa base dans une masse de sable ou de cailloux.

Mais ce procédé a été souvent insuffisant et il a fallu, dans les sous-sols humides, exécuter un vrai drainage continu, avec branchement d'égout dans les points bas (fig. 121).

Ensuite il faut que le plot ne puisse s'enfoncer dans le sol ou s'avarier sous le passage des véhicules. On lui donne une stabilité suffisante en l'asseyant sur une fondation en béton (fig. 122). Quant à sa résistance mécanique elle dépend des matières entrant dans sa constitution. Il est très difficile de trouver une matière réellement satisfaisante, surtout quand les plots ont à résister à une circulation aussi intense que celle de Paris.

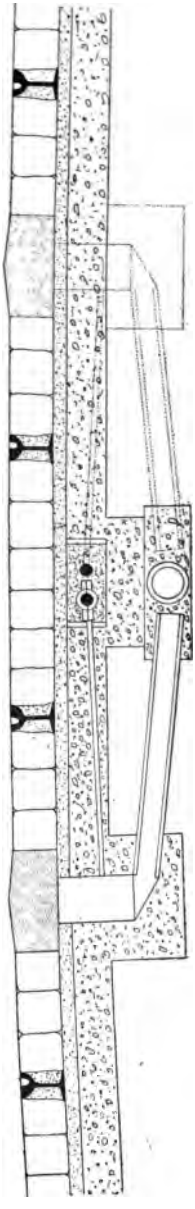


Fig. 121. — Voie Diatto avec drainage. — Coupe transversale.

Enfin, on doit appeler l'attention sur une cause de détérioration spéciale au système et qui peut souvent provoquer de graves embarras. Lorsque, par suite d'un contact imparfait — ce qui se passe, en particulier, si l'attraction du clou est

Fig. 122. — Système Diatto. — Pose des plots.

insuffisante — un arc se forme dans la boîte en ambroïne, l'élévation de la température qui se produit occasionne des dépôts de noir de fumée, qui peu à peu remplissent la capacité intérieure et établissent une communication entre le mercure et le clou. Le plot se trouve alors électrisé et un accident devient possible.

La barre frottante, étant à 500 volts, doit être munie natu-

rellement d'une suspension isolante. Il faut veiller à ce que, par suite des mouvements de la voiture, principalement au passage dans les courbes ou en cas de déraillement, cette barre ne puisse venir toucher quelque partie métallique du châssis ou de l'équipement. Sans cela il se produirait un court-circuit.

La hauteur de la barre au-dessus du sol est réglée de telle façon qu'elle exerce une certaine pression sur les plots sans pour cela être exposée à toucher la chaussée. Comme la saillie des plots n'est que de 1 à 2 cm, ce réglage est assez difficultueux.

Il ne dispense pas d'isoler les traversées des autres voies et les aiguillages, l'expérience prouvant que des courts-circuits peuvent se former en ces points.

Cet isolement s'obtient en coupant la partie des rails située dans l'entrevoie en quatre points (deux à droite de la barre et deux à gauche) et en intercalant entre ces coupons des plaquelles isolantes. On réalise ainsi, de part et d'autre de la barre, un isolement double. Pour donner à ces traversées de la solidité on fait les coupons en acier coulé et on les munit d'une large base que l'on tirefonne, d'autre part, sur de grandes traverses.

Lorsque la voiture doit circuler sur une ligne à équipement mixte — Diatto et trolley — il sera indispensable, sur la partie à trolley, de soulever la barre d'une dizaine de centimètres, pour éviter tout choc avec la chaussée. Ce résultat est très facilement obtenu à l'aide d'un système d'engrenages dans le détail duquel nous ne croyons pas devoir entrer.

On avait d'abord complété la barre Diatto par un frotteur de sécurité dont le but était de mettre franchement à la terre un plot restant électrisé en arrière de la barre. Mais ces frotteurs provoquaient, dans l'intérieur de l'appareil, des arcs destructeurs et on les a abandonnés.

Système Dolter. — Un des points faibles du système Diatto c'est que l'attraction du clou de contact est souvent insuffisante. Il se produit alors, dans l'intérieur de la boîte en ambroïne, des arcs qui altèrent les contacts et provoquent des dépôts de noir de fumée.

M. Dolter a remplacé le clou Diatto par un levier, en même temps qu'il a cherché à renforcer l'intensité du circuit magnétique.

A cet effet sa barre frottante est constituée par deux parties symétriques correspondant l'une au pôle sud, l'autre au pôle nord, et le tampon de l'appareil comporte deux saillies de contact, séparées par un métal antimagnétique. Le circuit magnétique passe par ces saillies et se ferme dans l'intérieur de l'appareil par l'un des bras du levier. A ce moment l'autre bras tourne autour de l'axe de rotation commun et ferme le contact. Les deux contacts sont en charbon. Le contact fixe est en communication avec le câble à 500 volts. Le contact mobile est relié au plot par un fil flexible ; cette disposition permet au courant d'aller directement au plot sans passer par l'axe de rotation du levier.

Le frotteur est prolongé par des frotteurs de sécurité. Ceux-ci ont pour but de relier les plots au châssis de la voi-

ture et de là au rail dès qu'ils ont été abandonnés par la barre aimantée. Si le plot est resté électrisé, le courant qui

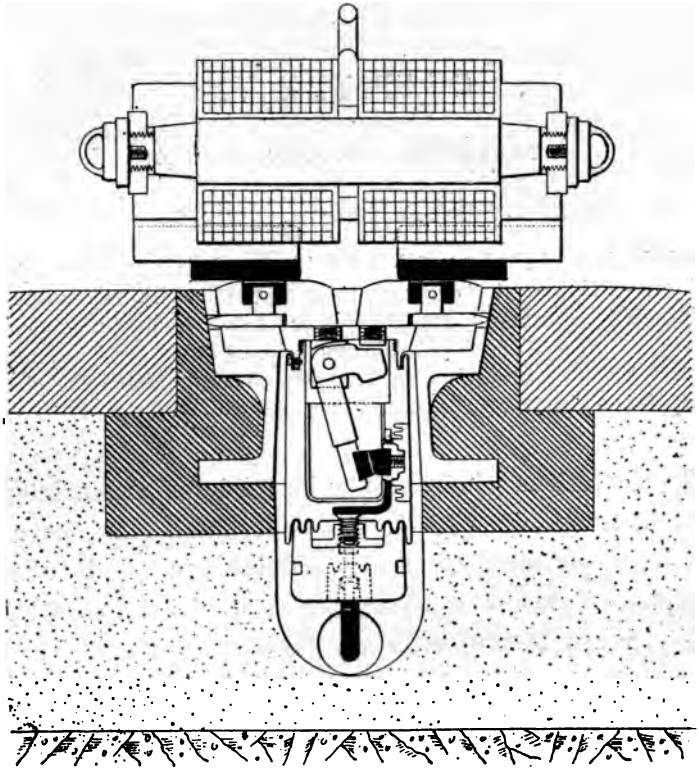


Fig. 123. — Système Dolter. — Coupe transversale sur un distributeur et sur la barre.

tend à s'écouler dans le sol met en mouvement, à l'aide d'un relais, une sonnerie électrique qui indique qu'à l'endroit déterminé il y a un plot à réparer.

CHAPITRE VI

TRAMWAYS A ACCUMULATEURS

Considérations générales sur l'emploi des accumulateurs pour la traction. — Principe et classification des accumulateurs. — Conditions de fonctionnement et d'emploi des accumulateurs. — Entretien et rendement. — Récupération de l'énergie. — Tramways à accumulateurs à charge ordinaire. — Tramways à accumulateurs à charge rapide. — Tramways à accumulateurs et à trolley.

Considérations générales sur l'emploi des accumulateurs pour la traction. — L'emploi des accumulateurs, pour la traction des tramways, est assez séduisant au premier abord. Chaque voiture portant avec elle sa provision d'électricité, il n'y a pas besoin, en effet, de conducteurs aériens ou souterrains pour distribuer le courant le long de la ligne. Un arrêt instantané de l'usine, une rupture accidentelle des conducteurs d'alimentation ne sont pas non plus à redouter et l'exploitation peut être assurée avec une sécurité absolue.

On conçoit même qu'une voiture, arrêtée par un encombrement subit de la voie, puisse, avec ses propres moyens, dérailler et contourner l'obstacle.

Enfin, la traction par accumulateurs peut être appliquée

sur des voies quelconques, si elles sont suffisamment résistantes, sans que l'on ait besoin de les modifier.

Mais les accumulateurs, malgré les grands perfectionnements qu'on leur a fait subir, présentent encore quelques inconvénients caractéristiques. Les principaux sont leur poids, leur faible rendement, le prix de leur entretien et, sauf pour quelques types nouveaux, leur défaut d'élasticité.

Ainsi s'explique le nombre relativement assez restreint de lignes de tramways qui ont été équipées avec ce système.

On pourrait d'ailleurs citer plusieurs installations où les accumulateurs, après avoir donné des résultats de plus en plus mauvais, ont été remplacés par un autre mode de traction.

Si le tracé est accidenté, le matériel lourd, la vitesse commerciale élevée, la traction par accumulateurs sera généralement très onéreuse.

Il faut, pour que ce système puisse réussir, des conditions bien spéciales, telles qu'un profil en long à peu près horizontal, une bonne conduite des voitures, un matériel assez léger.

Pour bien faire comprendre les avantages et les inconvénients des accumulateurs, il est indispensable de rappeler sommairement comment ils sont constitués et comment ils fonctionnent.

Principe et classification des accumulateurs — Prenons un bac rempli d'eau acidulée par de l'acide sulfurique et dans laquelle plongent deux plaques de plomb. Si nous

faisons passer un courant électrique de l'une à l'autre plaque (électrodes), l'eau sera décomposée en ses éléments, oxygène et hydrogène. L'oxygène se portera sur l'*anode* (plaque par laquelle le courant arrive) pour former une substance brune qui est du peroxyde de plomb, tandis que l'hydrogène ira à la *cathode* (plaque par laquelle le courant sort).

Si l'on arrête l'opération, on constate qu'il existe entre les deux plaques une différence de potentiel et que, d'autre part, en les réunissant par un fil conducteur, un courant électrique s'établit de l'anode à la cathode et se maintient pendant un certain temps. On a donc, en quelque sorte, par la première opération, *accumulé* dans l'appareil une certaine quantité d'électricité. L'accumulateur, fonctionnant à la décharge comme un générateur d'électricité, la plaque anode (qui correspond au pôle positif d'une dynamo) s'appelle *plaque positive*, l'autre *plaque négative*.

Pendant la décharge, c'est l'hydrogène qui se porte sur la plaque positive, en réduisant le peroxyde, et l'oxygène qui va à la plaque négative, laquelle se recouvre alors de sulfate de plomb, par suite de l'attaque de l'acide sulfurique du bain.

Mais, en faisant de nouveau passer du courant, l'oxygène peroxydera la plaque positive et l'hydrogène détruira le sulfate de la plaque négative en mettant en liberté l'acide sulfurique qui l'avait attaqué.

En continuant à charger l'accumulateur et à le décharger on retombera toujours sur les mêmes transformations, ce qui montre que les plaques peuvent servir non pas seule-

ment pour une opération, mais pour toute une série de charges et de décharges.

Quand on charge et décharge un accumulateur un certain nombre de fois, la quantité d'électricité qu'il peut débiter, c'est-à-dire sa capacité, augmente notablement. Aussi, avant d'employer des accumulateurs en service courant, commence-t-on par les *former*.

On désigne cette préparation préliminaire sous le nom de *formation Planté*.

Pour l'abréger, on peut opérer non sur des plaques de plomb, mais sur des plaques de plomb recouvertes d'oxyde de plomb (procédé Faure). Après une seule charge l'appareil est prêt à servir industriellement.

Mais il faut prendre alors des précautions pour que la matière active, ainsi déposée sur les plaques, ne se décolle pas. A cet effet on a adopté des plaques quadrillées, grillagées, dentelées, etc... En outre, pour avoir des carcasses résistantes, certains constructeurs ont remplacé le plomb par du plomb antimonieux.

A ces deux procédés de formation correspondent deux classes d'accumulateurs :

Les accumulateurs, genre Planté,

Les accumulateurs à oxyde.

Les accumulateurs à oxyde, en raison de leur plus grande capacité, avaient détrôné les accumulateurs genre Planté. Mais, dans ces dernières années, on est revenu à ce dernier système qui se désagrège beaucoup moins que les accumulateurs à oxyde et qui supporte mieux des régimes intensifs

Toutefois, comme l'expérience prouve que, sur une voiture de tramway, ce sont surtout les plaques positives qui se détériorent, on a combiné des *accumulateurs mixtes :* les plaques positives étant du genre Planté et les plaques négatives étant à oxyde.

Les accumulateurs de ce système sont parfois appelés *accumulateurs à charge rapide* parce que, ainsi qu'on le verra plus loin, on peut les charger beaucoup plus vite que les accumulateurs à oxyde.

Dans la catégorie des accumulateurs à charge rapide rentrent notamment :

L'*accumulateur Tudor* dont les plaques positives sont dentelées de chaque côté, afin d'augmenter la surface de métal en contact avec l'eau acidulée.

L'*accumulateur Union* qui est caractérisé par des plaques en plomb laminé dans lesquelles on taille, avec un outil spécial, une multitude de petites ailettes très rapprochées.

L'*accumulateur Blot* dont l'élément constitutif est formé par des lames de plomb enroulées comme autour d'une navette et dont la base est sciée normalement aux lames.

Parmi les accumulateurs à oxyde nous citerons, comme étant assez répandu, en France, l'*accumulateur de la Société pour le travail électrique des métaux.* L'oxyde est retenu dans la plaque positive par des augets. La plaque négative, que l'on a cherché à rendre très spongieuse, est du système Laurent-Cély. La matière active est, dans ce cas, un mélange de chlorure de plomb et de chlorure de zinc que l'on réduit par le zinc en plomb spongieux.

Les accumulateurs à base de plomb sont seuls employés couramment, du moins jusqu'à présent, pour la traction électrique.

Conditions de fonctionnement et d'emploi des accumulateurs. — Un accumulateur chargé à refus présente une *force électromotrice* de 2,6 volts. Mais il ne peut la conserver que très peu de temps et, à la décharge, celle-ci tombe rapidement à environ 2 volts. Il se produit ensuite une décroissance lente que l'on arrête à 1,85 volt, afin d'éviter la sulfatation des plaques.

La *capacité* dépend du poids des plaques constitutives et de la rapidité avec laquelle se font la charge et la décharge. Elle s'évalue en *ampères-heure*.

On peut monter les accumulateurs en série ou en quantité, comme les piles. Ainsi, une batterie de 10 bacs, de 50 ampères-heure chacune, donnera dans le premier cas, 50 ampères-heure à 20 volts (régime moyen) et, dans le second, 500 ampères-heure à 2 volts.

Pour calculer le nombre de bacs (ou d'éléments) que l'on doit charger sur une voiture, pour obtenir une tension déterminée, il faut partir de la force électromotrice minima à demander à chaque bac, soit 1,85 volt. Par conséquent, avec des moteurs à 500 volts, comme ceux qui sont employés sur les lignes à trolley, on devrait emporter un nombre de bacs égal à $\frac{500}{1,85} = 270$.

La manutention d'un nombre pareil de bacs est naturellement assez compliquée. Aussi préfère-t-on employer une ten-

sion moindre, sauf à prendre des éléments un peu forts. Il convient, d'ailleurs, de remarquer que la tension de 500 volts, qui est motivée dans le cas du trolley (ou de l'archet) par la nécessité où l'on est de ne pas dépasser, pour les conducteurs aériens, un diamètre de 7 à 8 mm et de restreindre les pertes de charge en ligne, ne s'impose plus avec les accumulateurs, puisque la source d'électricité est alors dans le voisinage immédiat des moteurs. En général, on se limite à une tension de 100 à 200 volts, ce qui correspond à un nombre d'éléments variant de 55 à 110.

Le poids et par suite les dimensions des éléments dépendent du travail que l'on a à effectuer entre deux chargements consécutifs de la batterie. Mais encore faut-il s'abstenir de faire travailler les accumulateurs à un régime excessif, dans l'intérêt de leur conservation et pour ne pas tomber sur des rendements trop bas.

On recommande de ne pas dépasser, comme service moyen, un débit de 2 ampères par kg de plaques ; mais, sous peine d'avoir des batteries excessivement pesantes, on est obligé, surtout pendant les démarrages, d'aborder des débits beaucoup plus élevés (5 et 6 ampères par kg de plaques). Les accumulateurs actuels supportent assez bien des variations de cette étendue, mais naturellement leur rendement s'en ressent.

Les catalogues des fabricants donnent, pour un régime déterminé, les poids des éléments correspondant à une capacité donnée. Ainsi nous relevons sur l'un d'eux que, pour avoir une capacité de 100 ampères-heure à débiter en cinq heures

(soit 20 ampères par heure), il faudra prendre des éléments de 13 kg. Le même élément, déchargé en une heure et demie, n'aurait plus qu'une capacité de 80 ampères-heure.

Quand le voltage des éléments est tombé à 1,85 volt, il faut recharger la batterie.

La conduite de cette opération varie selon qu'il s'agit d'un accumulateur à oxyde ou d'un accumulateur à charge rapide.

Dans le premier cas on chargera la batterie assez lentement, avec une intensité de courant sensiblement constante.

Par exemple, l'élément de 13 kg que nous venons de considérer, devra être chargé en quatre ou cinq heures à raison de 2 ampères environ par kg de plaque.

Au fur et à mesure que cette charge augmente, la tension de la batterie qui était au début égale $n \times 1{,}85$ volts (n étant le nombre de bacs) croît progressivement, et il arrive un moment où, en raison de la résistance qu'elle oppose au courant de charge, l'intensité de celui-ci faiblit notablement. On élève alors la tension de charge soit en agissant sur la dynamo génératrice, soit en faisant passer le courant, à ce moment, dans un survolteur. On charge donc pour ainsi dire en deux temps.

Avec les accumulateurs à charge rapide on emploie généralement la *charge à potentiel constant*. Cette méthode est, d'ailleurs, obligatoire, s'il s'agit de voitures prenant leur charge sur une ligne à trolley.

Avec ce mode de charge et en adoptant une tension suffisamment élevée, la batterie peut prendre, en quelques minutes, une partie importante de sa capacité (de 30 à 40 p. 100).

L'intensité atteint, au début, de 10 à 12 ampères par kilogramme de plaque.

En ne poussant pas la charge plus loin on se met dans l'obligation de n'utiliser qu'une partie de la capacité de la batterie. Aussi faut-il, dans ce cas, rapprocher les charges (une charge à chaque voyage, par exemple), ou bien augmenter le poids et les dimensions de la batterie.

Entretien et rendement. — Les accumulateurs nécessitent un entretien assez dispendieux, dû à ce qu'ils supportent assez mal les « coups de collier » qu'ils doivent donner au moment du démarrage. Si l'on veut démarrer vite, en effet (et c'est là un des avantages primordiaux des moteurs électriques), il faut faire débiter aux éléments un courant exagéré.

Les trépidations des voitures ont aussi une influence fâcheuse sur la conservation de la matière active. Celle-ci tombe peu à peu en bouillie au fond des bacs, dégarnissant l'élément, qui se trouve affaibli.

Les excès de débit sont également très néfastes : ils échauffent les plaques qui se gondolent et provoquent des courts-circuits.

Somme toute, l'accumulateur est un appareil qui doit être manié avec beaucoup de précautions et qui exige des soins minutieux. L'entretien des connexions et des contacts est également un souci constant pour l'exploitant.

Le nombre de kilomètres que les plaques peuvent parcourir avant d'être mises hors de service, varie avec le régime

auquel on les soumet. Sur telle ligne un peu dure les plaques positives ne parcourront que 8 à 10 000 km. Sur telle autre, plus douce, on atteindra 30 000 km.

Les plaques négatives durent souvent 7 à 8 fois plus.

Un ennui sérieux c'est que, par de forts débits, les bacs dégagent des vapeurs acides dont l'odeur est très désagréable pour les voyageurs. Dans certains types de voiture, où les accumulateurs avaient été placés sous les banquettes, cet inconvénient s'est tellement accentué que l'on a dû renforcer le châssis et suspendre la batterie sous la voiture.

On ne doit pas, même dans d'excellentes conditions, compter sur un rendement en watts supérieur à 70 p. 100[1]. Le rendement en ampères, qu'il est utile de connaître pour la charge, est de 85 à 90 p. 100.

Récupération de l'énergie. — Quand la voiture descend une pente, on peut faire travailler le moteur comme une dynamo génératrice et envoyer le courant ainsi produit dans les accumulateurs. On *récupère*, de cette façon, une partie de l'énergie consommée aux montées.

Soit P le poids de la voiture en tonnes, n le nombre de centimètres par mètre de la pente, l la longueur de cette pente supposée continue. Le travail disponible est, en adoptant les coefficients établis au chapitre II :

$$T = Pl\,(10 \times n - 13)$$

Mais, d'après M. Pellissier, par suite des arrêts, des ralen-

[1] Il s'agit du rapport des watts-heure de décharge aux watts-heure de charge.

tissements, etc., on ne peut compter que sur les 0,85 de ce travail. D'autre part, il faut tenir compte :

1° Du rendement des moteurs travaillant comme dynamos génératrices (75 p. 100) ;

2° Du rendement des accumulateurs (70 p. 100) ;

3° Du rendement des moteurs quand ils utiliseront le courant ainsi emmagasiné (75 p. 100).

Le travail disponible ne sera donc en réalité que :

$$T \times 0{,}85 \times 0{,}75 \times 0{,}70 \times 0{,}75 = T \times 0{,}33$$

L'avantage est encore appréciable et pourrait atténuer un peu l'infériorité de rendement des lignes à accumulateurs, relativement aux lignes à trolley. Cependant, il résulte de la pratique établie sur les lignes existantes que la récupération a été en réalité peu employée jusqu'ici.

Nous inclinons, par suite, à croire que le coefficient de 0,85 admis plus haut est probablement un peu élevé. On doit remarquer, d'ailleurs, que, dans les pentes, la récupération n'est possible qu'autant que T est positif, c'est-à-dire qu'autant que la pente par mètre est supérieure à 1,3 cm.

Pour que la récupération puisse se faire d'une façon pratique, il faut que les moteurs soient excités en dérivation (voir ch. VII). Or, pour la traction des tramways, les moteurs en série sont préférables. C'est là encore une des raisons qui contribuent à restreindre l'emploi de la méthode. On se rend d'ailleurs bien compte, d'après ce que nous avons dit plus haut, que celle-ci ne pourrait rendre de réels services que sur des lignes à profil suffisamment accidenté.

Mais de telles lignes sont justement celles pour lesquelles la traction par accumulateurs convient le moins.

Comme exemple de récupération nous citerons les résultats obtenus dans un essai effectué, à Paris, sur la ligne Madeleine-Saint-Denis (Cie des Tramways de Paris et du département de la Seine).

Les voitures pesaient 12 tonnes.

On a relevé sur deux rampes importantes (de 4 à 5 p. 100),

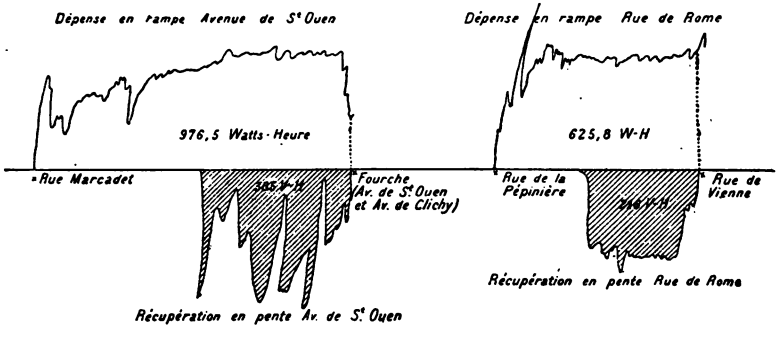


Fig. 124. — Récupération de l'énergie.

avenue de Saint-Ouen et rue de Rome, d'une part, le courant consommé à la montée, et, d'autre part, le courant récupéré à la descente. Les chiffres suivants ont été obtenus :

AVENUE DE SAINT-OUEN

Dépense en rampe	976,5 watts-heure.
Récupération en pente	385,0 —

RUE DE ROME

Dépense en rampe	625,8 watts-heure.
Récupération en pente	216,0 —

Ces résultats très appréciables sont mis en évidence par la figure 124, dans laquelle les courbes supérieures donnent la consommation relevée au watt-mètre pendant les rampes. La partie hachurée correspond aux watts récupérés. Le rapport des watts-heure gagnés aux watts-heure dépensés est de 39 p. 100 dans le premier cas et de 34 p. 100 dans le second. Mais, comme la batterie d'accumulateurs ne les rend qu'avec une perte de 30 p. 100, on ne retrouve finalement que 27,3 p. 100 et 21,8 p. 100 de l'énergie dépensée.

Ces chiffres se rapprochent de ceux qui ont été précédemment calculés.

Mais il faut remarquer qu'ils ne s'appliquent qu'à une partie très courte du trajet et que la proportion des watts-heure consommés de bout en bout de la ligne aux watts-heure dont la récupération est possible, serait, en raison du profil en long général, excessivement faible.

Tramways à accumulateurs à charge ordinaire. — Dans ce système les batteries se chargent à poste fixe, dans les dépôts. La charge se fait généralement à intensité constante, avec surélévation du potentiel vers la fin de l'opération, laquelle dure de quatre à cinq heures.

Si l'on n'avait pas plus de batteries que de voitures, il faudrait immobiliser ces dernières pendant toute la durée de la charge. Pour éviter cet inconvénient on a deux batteries par voiture, l'une d'elles étant à la charge pendant que l'autre est en service.

Après avoir effectué le parcours que permet la capacité

de la batterie qu'elle emporte, la voiture rentre au dépôt et échange sa batterie pour une autre nouvellement chargée.

Le temps perdu pour ces échanges de batteries doit naturellement être réduit au minimum.

Fig. 125. — Manutention des bacs.

A la Compagnie des tramways de Paris et du département de la Seine, voici comment on avait d'abord procédé.

Les accumulateurs étaient logés sous les banquettes de la voiture (fig. 125) et il suffisait, pour les rendre accessibles, d'enlever des panneaux à rabattement formant la partie extérieure de la caisse sur toute la hauteur des banquettes. La voiture était amenée entre deux bancs de charge. On ouvrait

les panneaux et on enlevait les caisses une à une. La voiture était ensuite repoussée de quelques mètres de manière à se trouver en regard d'éléments complètement chargés. On poussait ceux-ci sous les banquettes des deux côtés à la fois, sans se préoccuper des connexions entre bacs, qui s'effec-

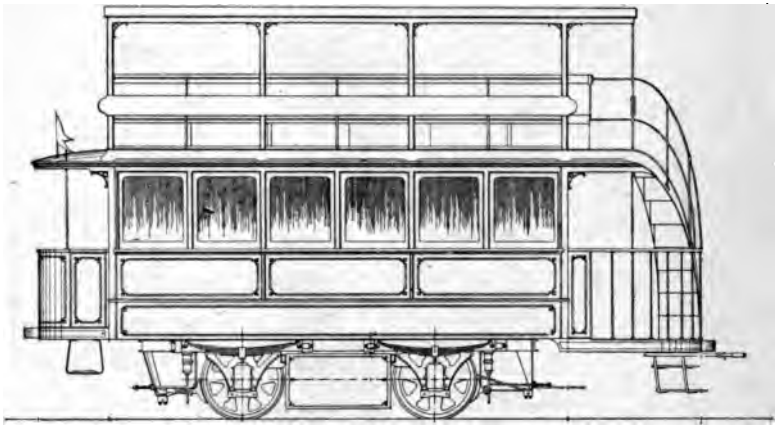


Fig. 126. — Suspension de la batterie sous la voiture.

tuaient sans manœuvre spéciale, les bacs venant appuyer sur des glissières en cuivre qui les reliaient électriquement.

Malgré cela, cette manœuvre était encore assez longue. D'autre part, on reconnut rapidement qu'en plaçant les accumulateurs sous les banquettes on exposait les voyageurs à des émanations désagréables. On prit donc le parti de placer les accumulateurs dans de grandes caisses pouvant être accrochées sous les voitures (fig. 126). Mais, comme on arrivait à manutentionner ainsi des charges de 3 à 4000 kg, il a

fallu combiner des engins spéciaux pour enlever ces caisses et les remplacer par de nouvelles.

Au dépôt de Saint-Denis la manœuvre se fait avec un monte-charge hydraulique.

A Asnières on emploie des transbordeurs à main (fig. 127).

Fig. 127. — Transbordement des batteries.

Ces appareils sont constitués par des plateaux mobiles que l'on amène sous la batterie, jusqu'à la toucher. Avec une manivelle on soulève légèrement celle-ci jusqu'à ce qu'elle échappe à ses supports. Puis on la déplace latéralement, de manière à dégager le dessous de la voiture. Le propre déplacement du plateau amène sous la voiture un autre plateau portant une batterie chargée, et il suffit alors d'élever ce deuxième plateau verticalement pour mettre la deuxième batterie en place.

L'ensemble de ces manœuvres est encore trop lent et un élévateur hydraulique est de beaucoup préférable.

Le mode de suspension des batteries par caisses indépendantes placées sous les voitures, et dont les avantages sont évidents, ne peut être réalisé qu'à la condition que le châssis puisse supporter la charge qui lui est accrochée. Il faut donc le calculer en conséquence.

Il peut arriver d'autre part, surtout si l'on a un matériel à petit empattement, que l'espace disponible entre les roues ne permette pas d'y loger la batterie. Dans ce cas on peut diviser la batterie en deux caisses que l'on suspend sous les avant-becs du châssis (Saint-Denis).

Avec du matériel à bogie cet inconvénient ne se présente plus. Et même avec les petits bogies dits *maximum traction*, qui sont assez en faveur sur certaines lignes de tramways, on a toute la place voulue pour placer sous le milieu de la voiture des batteries de 4 à 5 000 kg.

Tramways à accumulateurs à charge rapide. — Avec les accumulateurs à charge rapide on évite toute manutention des batteries.

D'autre part, si celles-ci sont un peu plus lourdes en raison même de leur constitution et parce que l'on n'utilise qu'une partie de leur capacité, on n'a pas besoin, en revanche, d'avoir toutes les batteries en double.

Avec ce système il n'est pas indispensable de placer les batteries dans une caisse spéciale accrochée sous la voiture, puisque les batteries sont pour ainsi dire à poste

fixe. Néanmoins c'est une disposition à recommander.

La charge des batteries se fait au terminus pendant le stationnement des voitures (fig. 128). Elle dure de dix à quinze minutes. Le courant est amené en ces points par des feeders et distribué aux voitures par une borne d'alimentation.

Fig. 128. — Tramways à accumulateurs à charge rapide. Charge au terminus.

A Paris (lignes de la Cie des Tramways de Paris et du département de la Seine) cette borne ressemble à un socle de candélabre. On la relie aux voitures par un câble flexible.

Dans l'intérieur de la borne se trouvent ordinairement un coupe-circuit, un interrupteur bipolaire et un avertisseur de fin de charge. Ce dernier appareil a pour but d'indiquer au conducteur quand il doit décrocher le câble de charge. Le prin-

cipe de son fonctionnement est indiqué par la figure 129. Sur le circuit de charge, mais en avant de la batterie, est branché un solénoïde en fil fin pouvant attirer un noyau en fer doux qui commande un contact de sonnerie électrique. Lorsque le courant passe dans le solénoïde le noyau est attiré et la sonnerie fonctionne. Un autre solénoïde (à gros fils), en série sur le circuit de charge, agit également sur le noyau, mais

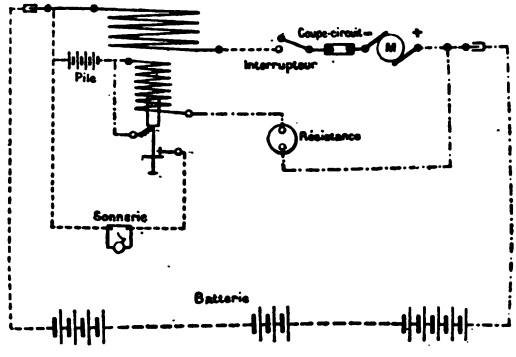


Fig. 129. — Indicateur de fin de charge.

en sens inverse. Au début de la charge, alors que le courant passant par la batterie est très intense, les deux actions se neutralisent ; le fer doux reste immobile. Mais, dès que le courant de charge diminue, par suite du développement de la force contre-électromotrice de la batterie, l'action du solénoïde à fil fin devient prédominante et le fer doux est attiré.

L'intensité du courant de charge, très grande au début de l'opération, diminue rapidement. On commence généralement avec 10 ampères par kilogramme de plaque pour arriver en une dizaine de minutes à 5. Il est à remarquer que,

vers la fin de l'opération, la perte de charge dans les feeders est moins grande qu'au début puisque le courant débité est plus faible. La tension aux bornes de la batterie augmente donc légèrement, ce qui tend à accroître la quantité d'électricité emmagasinée dans la batterie.

La tension du courant de charge dépend de celle qui a été admise pour le fonctionnement des moteurs. Mais, si le réseau comporte plusieurs terminus alimentés par une même usine, on aura avantage, pour économiser sur les feeders, à employer des courants de 5 à 600 volts, comme s'il s'agissait d'un tramway à trolley.

L'usine de charge doit, naturellement, être apte à supporter les à-coups qui se produisent quand plusieurs voitures sont reliées simultanément aux bornes de charge. Il sera bon, pour cette raison, de la munir d'une batterie tampon.

Tramways à accumulateurs et à trolley. — La traction par accumulateurs étant notablement plus coûteuse que la traction par trolley on a intérêt, quand, sur une ligne donnée, la traction par accumulateurs ne s'impose que pour une partie du trajet, à employer, sur le reste du parcours, la traction par trolley (fig. 130).

On arrive ainsi à la combinaison d'un système mixte de traction par accumulateurs et trolley.

Ce système devient tout à fait intéressant quand on peut charger les accumulateurs sur la partie à trolley, avec le courant même de la ligne car, alors, on évite toute perte de temps dans les dépôts et dans les terminus.

Pour cela il suffit que le nombre des éléments de la batterie soit tel que celle-ci puisse supporter la tension de la ligne aérienne, soit 500 volts, et que d'autre part le parcours en trolley soit suffisant pour que la batterie ait le temps d'emmagasiner la quantité d'électricité consommée sur la section sans trolley.

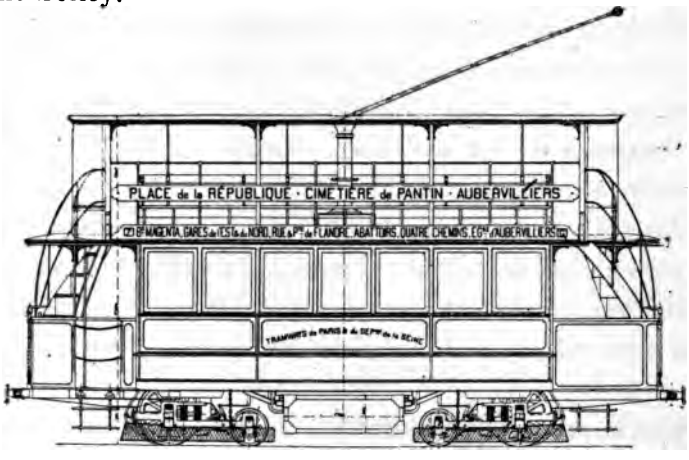


Fig. 130. — Voiture à accumulateurs et à trolley.

On se trouve ici dans le cas de la *charge à potentiel constant*. Son régime dépendra de la tension de la batterie, au moment où celle-ci abordera la section à trolley. Mais il y aura toujours un « coup de fouet » pendant lequel la batterie emmagasinera la partie la plus importante de sa charge. Ensuite la batterie continuera à se charger, mais lentement.

On peut employer soit des accumulateurs à charge rapide (Vanves), soit des accumulateurs à oxyde (Pantin), mais les

premiers, qui sont plus robustes, et qui, à poids égal, présentent une plus grande surface de plaques, sont préférables[1].

Le nombre des éléments de la batterie se détermine en admettant que chacun d'eux prendra environ 2,3 volts, ce qui, pour une ligne à trolley, conduit à un nombre d'éléments de 200 à 230. On se conformera, sur ce point, aux indications des fabricants, l'aptitude des accumulateurs à supporter des charges plus ou moins intenses variant avec le système de construction des plaques.

Le poids de la batterie dépend du parcours à effectuer sur la partie à accumulateurs et du temps dont on dispose pour la charger. En général le temps de charge sera inférieur à celui que nécessiterait la batterie pour être complètement chargée. Par conséquent on ne pourra utiliser qu'une partie de la capacité, ce qui tendra à augmenter le poids des éléments. Il faut d'ailleurs être très large à ce point de vue, l'expérience prouvant que des batteries, si bien qu'elles aient été établies, ont à compter avec de nombreuses causes d'affaiblissement[2].

Dans le système mixte les batteries d'accumulateurs sont montées en dérivation sur le circuit des moteurs des voitures.

[1] Par suite de nouveaux contrats les accumulateurs à oxyde ont été remplacés sur cette ligne par des accumulateurs Tudor.

[2] Sur Pantin-Aubervilliers, où, comme on l'a dit plus haut, on a employé pendant quelque temps des accumulateurs à oxyde, le poids des batteries était de 3 812 kg et le nombre des éléments de 224. Le trajet sur trolley atteignait 2 080 m, et sur batterie 4 670 m.

A Hanovre (accumulateurs à charge rapide) les batteries pèsent 2 500 kg. Le nombre des éléments est de 208. Le trajet sur trolley est de 3 400 m et sur batterie, de 4 000 m.

Elles ont évidemment tendance à régulariser le débit de l'usine, en agissant un peu comme des batteries-tampon (voir chapitre IX). Le fait a été clairement mis en évidence à Hanovre où, dès que la traction mixte a été appliquée le rendement de l'usine, par suite de l'amélioration des conditions de marche des machines, a passé de 320 watts-heure par kg de charbon à 480 watts-heure.

CHAPITRE VII

MATÉRIEL ROULANT

Voitures. — Moteurs. — Fonctionnement des moteurs : (*a*) Moteur à courant continu, excité en série ; (*b*) Moteur à courant continu, excité en dérivation ; (*c*) Moteurs à courants polyphasés. — Contrôleur. — Appareils divers. — Freins. — Éclairage et chauffage des voitures. — Fenders. — Voitures pour l'enlèvement des neiges. — Voitures diverses.

Voitures. — Dans une voiture nous distinguerons le *truck* et la *caisse*. On fait généralement ces deux parties indépendantes, de telle façon que, dans les dépôts, on puisse, en enlevant la caisse, visiter facilement les moteurs et les connexions.

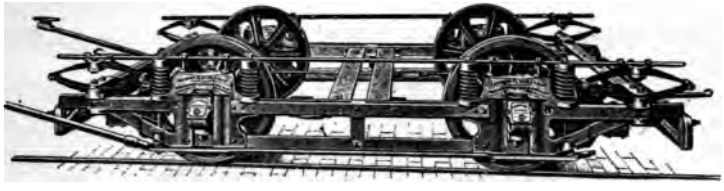


Fig. 131. — Truck Peckham.

Le truck est constitué par un bâti rectangulaire en acier convenablement entretoisé.

Les Américains ont poussé très loin l'étude et la construc-

tion des trucks. Nous indiquons figures 131 et 132 deux des principaux trucks employés par eux : le *truck Peckham* qui

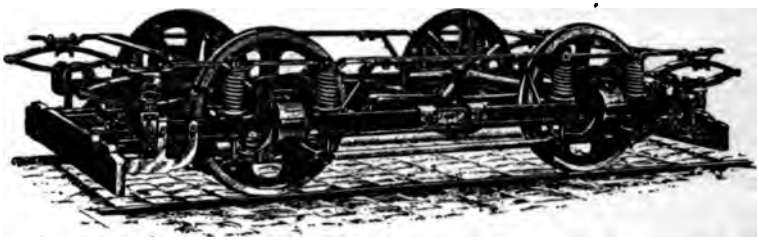


Fig. 132. — Truck Brill.

est en acier forgé, et le *truck Brill* dont le châssis est en acier coulé, ce qui offre l'avantage d'écarter l'emploi des rivets.

L'empattement, c'est-à-dire la distance des essieux, est généralement assez faible (1,8 m environ), afin de permettre aux voitures de passer dans des courbes de 18 à 20 mètres de rayon.

Pour obtenir une inscription plus facile du matériel dans

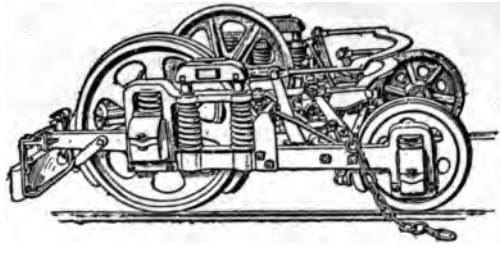


Fig. 133. — Truck maximum traction.

les courbes on a parfois employé des *essieux convergents*. Mais il vaut mieux avoir recours à des *bogies*. Le mouvement de la voiture est alors beaucoup plus doux et la fatigue

du matériel est moindre. L'inconvénient des bogies, c'est qu'ils augmentent le poids mort. Aussi a-t-on combiné des bogies à roues inégales (truck *maximum traction* (fig. 133), truck Brill, etc.....) qui sont caractérisés par une grande légèreté. Dans ce cas, afin d'augmenter l'adhérence, le poids de la voiture est réparti inégalement sur les roues, la roue motrice, c'est-à-dire la grande roue, recevant au moins les deux tiers du poids.

La tendance actuelle est aux voitures longues. Mais, dans le cas des essieux rigides, la longueur est assez limitée, car, si le porte-à-faux était trop considérable, la voiture serait mal équilibrée et subirait des mouvements de lacet désagréables. Le porte-à-faux est généralement égal à l'empattement.

La caisse de la voiture repose sur le truck par des ressorts. En Amérique, on emploie surtout des ressorts à boudin. Chez nous, au contraire, nous nous servons plus volontiers de ressorts plats, analogues à ceux des wagons de chemins de fer.

Le truck repose également par des ressorts sur les boîtes à graisse. On dispose ainsi d'une double suspension, qui donne au roulement beaucoup de douceur.

Nous n'avons rien de spécial à dire sur les roues. Signalons cependant l'emploi de plus en plus considérable de roues en fonte, à cémentation superficielle. Quel que soit le métal employé il ne faut pas oublier que les roues doivent être combinées pour les rails sur lesquels elles doivent rouler. Il importe de déterminer le profil du bandage en conséquence.

Les voitures sont ou fermées (fig. 134 et 135) ou découvertes, suivant les saisons — ou du moins elles devraient

Fig. 134. — Voiture fermée à essieux rigides.

être ainsi. Mais beaucoup de compagnies, soit insuffisance de capital, soit par suite d'une conception fausse des besoins de l'exploitation, s'obstinent encore à avoir, pendant l'été, le même matériel qu'en hiver. C'est une erreur certaine.

Fig. 135. — Voiture fermée avec truck maximum.

L'expérience prouve que, pendant la belle saison, les voitures ouvertes sont très goûtées par le public qui délaisse les voitures fermées (fig. 136).

Si, par suite des exigences administratives, on ne peut adopter ce genre de matériel, il faut s'en rapprocher autant

Fig. 136. — Voiture ouverte.

que possible et combiner, par exemple, comme à New-York, des voitures mixtes (fig. 137). D'après M. Vreeland ces voitures ont, à New-York, le plus grand succès.

Pour diminuer les dépenses de première installation

Fig. 137. — Voiture mixte américaine.

que nécessite un double matériel, certaines compagnies ont combiné des voitures mixtes à parois mobiles (Portland).

D'autres utilisent les mêmes trucks et changent simplement la caisse de la voiture.

Enfin on peut s'arranger également de façon à faire servir les moteurs des voitures fermées pour l'équipement des voitures découvertes. Ainsi la *West End Street Railway Com-*

Fig. 138. — Voiture à impériale (Paris).

pany de Boston, qui emploie pendant la mauvaise saison des voitures fermées à deux moteurs de 25 chevaux, se contente, quand elle met en circulation une voiture découverte, d'enlever l'un des moteurs d'une voiture fermée et de l'installer sur le truck de la voiture à mettre en service. On ne dispose, dans ce cas, que de 25 chevaux par voiture. Mais les voitures sont plus légères et, en été, le roulement se fait

dans de bien meilleures conditions. La voiture fermée, réduite à son moteur de 25 chevaux, sert de réserve pour les jours de grande affluence.

Les voitures à impériale sont de plus en plus abandonnées (fig. 138). Elles font perdre trop de temps pour la montée et la descente des voyageurs. De plus elles sont une source d'accidents. C'est cette préoccupation qui a conduit les nou-

Fig. 139. — Voiture à plate-forme centrale (Paris).

velles compagnies de tramways de Paris à adopter un type de voiture à grande plate-forme centrale (fig. 139) avec deux compartiments fermés, à droite et à gauche, l'un pour la 1re classe, l'autre pour la 2e classe.

Les dispositions intérieures des voitures doivent être combinées en vue d'assurer la circulation des voyageurs et de faciliter le contrôle. Ce qui paraît le mieux convenir est d'avoir l'entrée à une extrémité et la sortie à l'autre. Il faut se défier des grandes plates-formes dont l'emploi est ten-

tant, au premier abord, parce qu'elles ont une grande capacité. En cas de surcharge elles rendent la perception très difficile.

La double classe (1re et 2e) est une complication sérieuse pour l'arrangement de la distribution intérieure. Les Américains n'ont qu'une classe et s'en contentent fort bien. Il est regrettable qu'à Paris on n'ait pas cru devoir les imiter.

On sépare souvent le wattman du public. C'est une mesure sage, le wattman devant réserver toute son attention pour la conduite des voitures.

Moteurs. — Il est nécessaire que les moteurs soient peu volumineux, pour qu'ils puissent être logés aisément sous la caisse des voitures. En outre, leurs différents organes doivent être mis soigneusement à l'abri de la boue et de la poussière.

On a combiné, à cet effet, des moteurs dits *Waterproof*, qui sont complètement renfermés dans une enveloppe en fonte ou en acier coulé; mais celle-ci peut s'ouvrir facilement, en sorte que l'on peut visiter rapidement les différents organes en mouvement et, en particulier, le collecteur.

Un moteur se compose essentiellement d'un induit tournant entre des électro-aimants excités par un système inducteur.

C'est, en somme, la disposition bien connue d'une dynamo; mais, dans un moteur, c'est le courant qui fait tourner l'induit, alors qu'avec une dynamo on fait tourner l'induit pour obtenir du courant.

Avec les moteurs de puissance moyenne, comme ceux qui sont en usage pour la traction des tramways, l'induit tourne très vite (800 à 1000 tours par minute). C'est là un inconvénient, car, pour passer de la vitesse de rotation des moteurs à

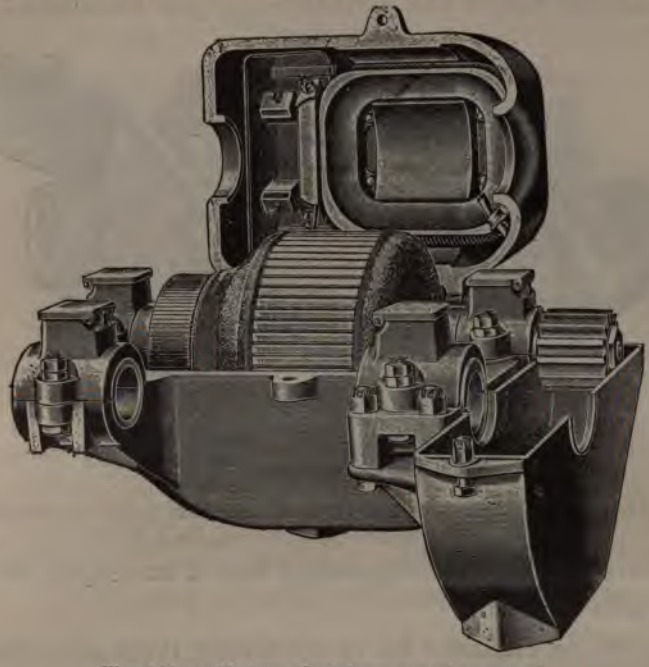


Fig. 140. — Moteur électrique ouvert en grand.

celle des essieux, on est obligé d'employer plusieurs engrenages réducteurs. Mais on peut obtenir une vitesse moindre, en combinant des moteurs à plusieurs inducteurs, c'est-à-dire à plusieurs pôles. Le plus souvent les moteurs sont *tétrapolaires* (à 4 pôles). Dans ces conditions, la vitesse se trouve diminuée de moitié (400 à 500 tours) et un seul engrenage

suffit. Comme cet engrenage produirait, en tournant, un bruit de ferraille désagréable, on le loge dans une caisse remplie d'huile.

On peut, pour cette transmission de mouvement, remplacer les engrenages par des bielles ou par des chaînes de

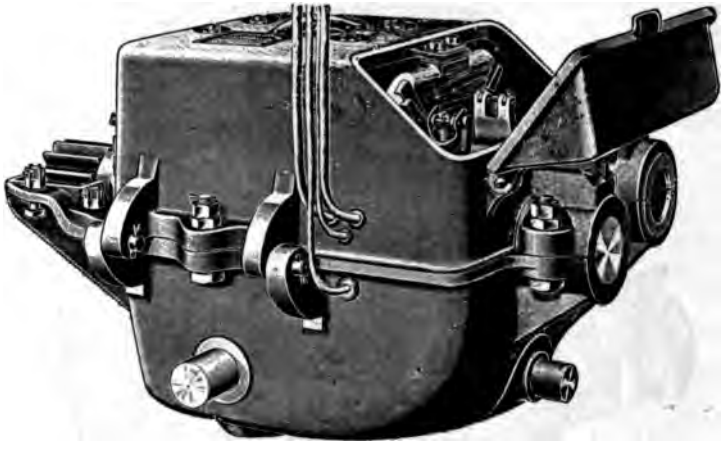


Fig. 141. — Moteur électrique ouvert seulement pour la visite du collecteur.

transmission. Mais les engrenages sont d'un emploi beaucoup plus répandu.

En vue de diminuer les inconvénients inévitables d'une transmission par engrenages M. Short a contruit un moteur à vitesse lente, qui se monte directement sur les essieux. Mais le rendement de ce moteur est moins bon que celui des moteurs ordinaires à 4 pôles.

Les figures 140 et 141 montrent un moteur excessivement répandu aux Etats-Unis. C'est le type GE, 800 de la *General Electric Company*, ainsi désigné parce qu'il peut

exercer sur la barre d'attelage un effort de traction de 800 livres[1]. Sa puissance est de 25 chevaux.

On peut ouvrir le moteur, en grand, comme l'indique la figure 140; ou bien, en soulevant un couvercle latéral, on inspecte seulement le collecteur (fig. 141). Cette dernière opéra-

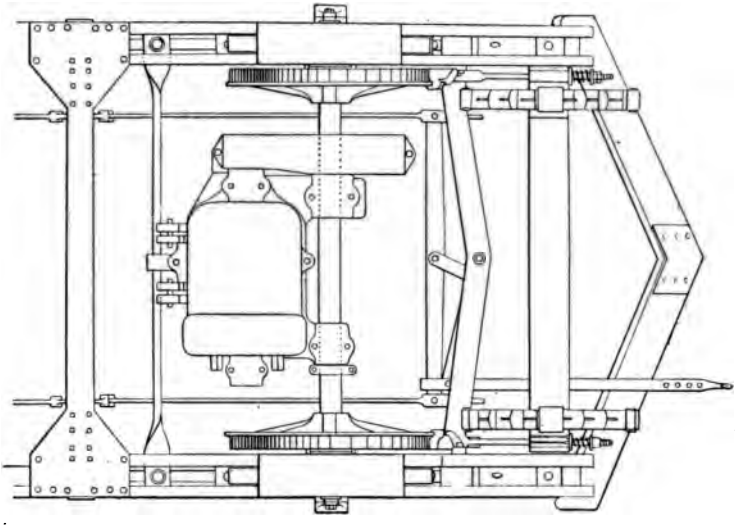


Fig. 142. — Montage du moteur sur le truck. — Vue en plan.

tion peut se faire en cours de route, en ouvrant une petite trappe ménagée dans le plancher de la voiture.

Le moteur est monté comme l'indique la figure 142. Par deux paliers il porte sur l'essieu moteur. En arrière, il est soutenu par une barre transversale fixée elle-même au truck

[1] Ce moteur est fabriqué, en France, par la Société Thomson-Houston. Citons également les moteurs Westinghouse. Ceux-ci se fabriquent maintenant en France (Société Industrielle d'Électricité).

par l'intermédiaire de tampons en caoutchouc. La transmission des mouvements est assurée par un pignon en acier taillé engrenant avec une roue en acier coulé calée sur l'essieu. Le rapport des engrenages est de 1 à 4,70. Le moteur pèse, enveloppe comprise, environ 700 kg, soit 28 kg par cheval.

Dans l'équipement Westinghouse la barre de soutien

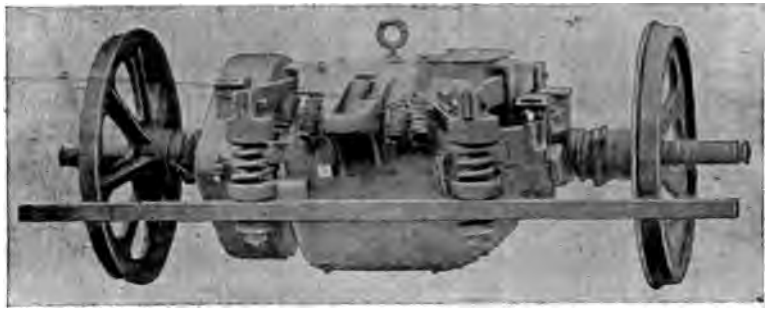


Fig. 143. — Mode de suspension du moteur Westinghouse.

n'est plus à suspension élastique. Mais le moteur s'appuie sur elle par l'intermédiaire de deux ressorts (fig. 143).

On doit se préoccuper, pour l'installation d'un moteur sur un truck de tramways, de réduire autant que possible le poids porté par l'essieu, afin d'amortir les chocs qui se produisent aux passages des éclisses. C'est ainsi que, dans le truck de la General Electric, le point d'attache du moteur, sur la barre arrière, se trouve un peu au-dessous du centre de gravité du moteur et de son enveloppe.

Dans un même ordre d'idées, M. Short suspend son moteur à action directe pour ainsi dire au-dessus de l'essieu.

Le truck Walker présente (fig. 144) une disposition origi-

nale. Le moteur est excentré par rapport à l'essieu et il repose sur cette pièce par l'intermédiaire de ressorts. Une barre fixée au truck et sur laquelle il s'appuie également par l'intermédiaire de ressorts forme second point d'appui. Le moteur est ainsi doublement suspendu : à l'avant et à l'arrière.

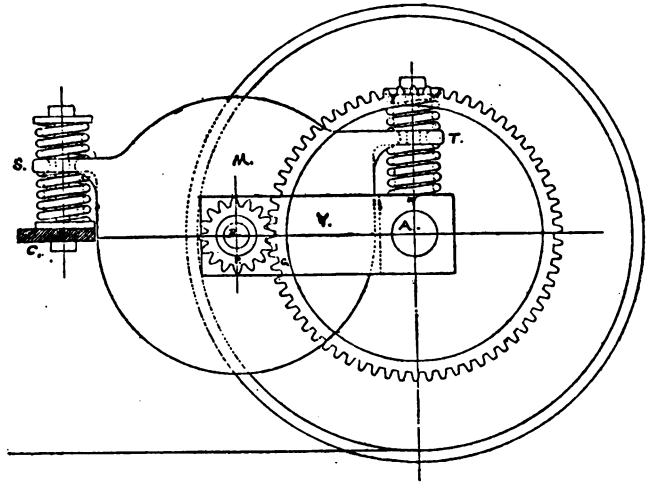


Fig. 144. — Mode de suspension du moteur Walker.

Un moteur pour tramway doit être excessivement robuste et il faut pouvoir, quand une pièce est avariée, la remplacer rapidement.

Aux États-Unis chaque pièce est cataloguée et, si on ne la possède pas en magasin, il suffit de s'adresser au constructeur pour la recevoir sans délai.

La plus importante partie de la dépense d'entretien d'un moteur concerne le collecteur qui s'use assez rapidement

par suite du frottement des balais et des étincelles qu'occasionnent les variations brusques de courant. A ce double point de vue on doit conseiller l'emploi de *balais en charbon*, de préférence aux balais en toile métallique, en clinquant ou en fils de cuivre.

Ces balais se placent normalement au collecteur et, comme on le verra plus loin, ils n'ont pas besoin d'être décalés, quand on veut changer le sens de la marche.

Dans un moteur à courants polyphasés, il n'y a pas de collecteurs (des bagues de prise de courant suffisent). C'est là un des avantages que l'on fait, avec raison, valoir en faveur du système.

Fonctionnement des moteurs. — a) *Moteur à courant continu excité en série.* — Les moteurs de cette catégorie sont de beaucoup les plus employés pour la traction des tramways (nous dirons plus loin pourquoi). C'est le même courant I (en ampères) qui traverse les inducteurs et l'induit.

Supposons un moteur fonctionnant sous une différence de potentiel E (par exemple 500 volts) et tournant à la vitesse de n tours par seconde. Ce moteur produit, en tournant comme le ferait une dynamo, une certaine force électromotrice e. Elle est opposée à celle qui le fait tourner (loi de Lenz) et est, pour cette raison, appelée *force contre-électromotrice*. L'intensité I (en ampères) du courant qui circulera dans le moteur sera dès lors, à ce moment

$$I = \frac{E - e}{R} \qquad (1)$$

R étant la résistance intérieure du moteur, exprimée en ohms.

Or le régime de e est connu : c'est celui d'une dynamo ordinaire; il se résume dans la formule

$$e = kn\varphi \qquad (2)$$

où k est une constante, n le nombre de tours par seconde de l'induit (et par suite du moteur) et φ le flux magnétique produit par les inducteurs.

En rapprochant les formules (1) et (2) on voit qu'au moment du démarrage e est nul et I maximum. A ce moment $I = \frac{E}{R}$. Cette valeur est généralement beaucoup trop forte pour pouvoir être supportée par le moteur qui risquerait d'être brûlé. On atténue alors l'intensité du courant en faisant passer celui-ci dans des *résistances*.

Le moteur se met en route; e croît rapidement et, dès qu'il a atteint une valeur convenable, on peut supprimer la résistance. Afin d'éviter les à-coups on supprimera ces résistances progressivement, par exemple en trois fois.

L'action d'un moteur s'exerce sur un pignon (monté sur l'arbre de l'induit) et se traduit par un certain couple mécanique C. La puissance disponible est $C \times 2\pi n$, et comme elle est d'autre part égale à e I, on en déduit

$$C = \frac{eI}{2\pi n} \qquad (3)$$

formule qui permet de calculer à chaque instant le couple mécanique.

On peut mettre cette formule sous la forme

$$C = \frac{K n \varphi I}{2 \pi n} = \frac{K}{2 \pi} \varphi I \qquad (4)$$

Or, le flux magnétique φ, produit par le courant circulant dans les fils qui entourent l'inducteur, est fonction de ce courant. Si l'on veut le représenter graphiquement on aura une courbe analogue à celle qu'indique la figure 145 et qui montre que, pour une intensité nulle, φ est nul, ce qui se conçoit d'ailleurs aisément, puisqu'il ne peut y avoir à ce moment d'aimantation. Puis, au fur et à mesure que I croît, φ augmente d'une façon à peu près proportionnelle. Mais il arrive un moment où les inducteurs sont *saturés*. Le flux restera alors pratiquement constant et la courbe deviendra sensiblement une droite horizontale, en formant un *coude* au point qui correspond à la saturation.

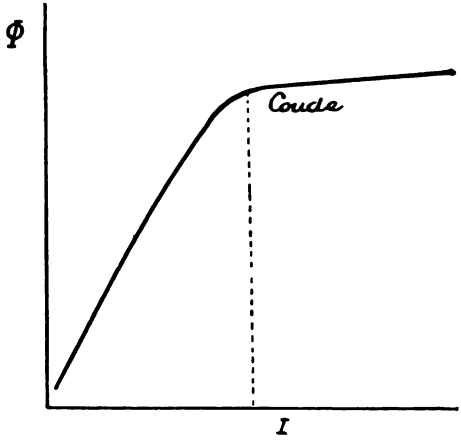


Fig. 145. — Courbe du flux magnétique.

Dans les moteurs de tramways généralement employés le courant qui circule dans les inducteurs pendant la marche normale est tel que ceux-ci sont saturés. Ils le sont *à fortiori* au début puisque, à ce moment, l'intensité du courant

est maxima. Donc on peut, pour un moteur de tramway, considérer φ comme constant, et de la formule (4) résulte par suite cette règle, que le *couple est proportionnel à l'intensité.*

Au moment du démarrage cette intensité est, comme nous l'avons établi, maxima.

Donc le *couple au démarrage d'un moteur excité en série est maximum*, qualité extrêmement précieuse pour une exploitation de tramway, car, grâce à elle, on peut réaliser des démarrages très rapides.

Les différents régimes d'un moteur sont mis en évidence par sa *caractéristique*. Pour obtenir celle-ci on porte les intensités en abscisse et, en ordonnées, le couple et la vitesse.

On complète généralement ces courbes fondamentales par la courbe du rendement. Ce rendement s'entend par le rapport de la puissance disponible sur l'arbre du moteur à la puissance totale fournie au moteur qui est égale à EI.

Nous avons vu que la puissance disponible sur l'arbre était de $C \times 2\pi n$; mais nous avons négligé ainsi certains couples parasites comme, par exemple, celui qui provient des frottements de l'arbre sur ses coussinets.

Pour obtenir le vrai couple utile Cu on le mesurera au frein de Prony et c'est l'expression $\frac{Cu \times 2\pi n}{EI}$ qui déterminera le rendement.

Dans la pratique, il est intéressant de connaître non pas le couple sur l'arbre du moteur, mais l'effort de traction F à la jante des roues. Si m est le rapport des engrenages et D le diamètre des roues motrices on aura $F = \frac{2mC}{D}$

De même, on fera entrer dans le rendement du moteur celui des engrenages qui le diminue d'environ 4 à 5 p. 100.

Les courbes de la figure 146 ont été établies en partant de ces deux dernières hypothèses.

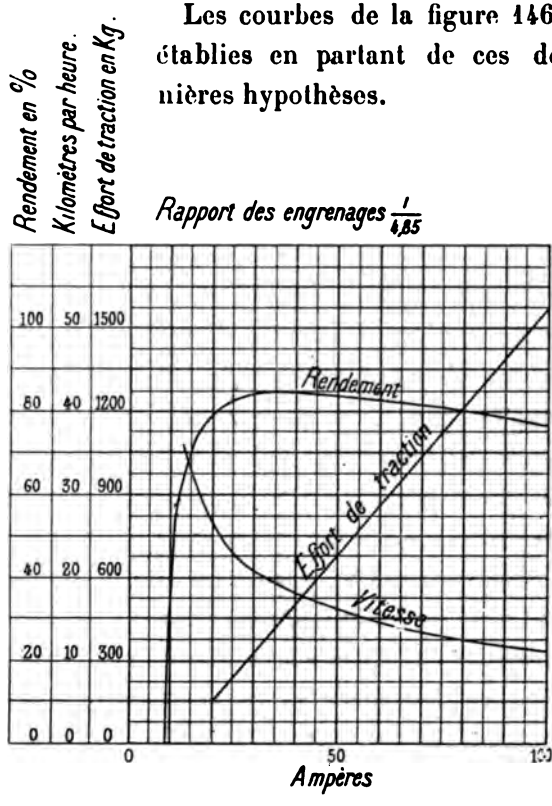


Fig. 146. — Caractéristique d'un moteur de tramway.

On a beaucoup amélioré, dans ces dernières années, le rendement des moteurs de tramways. Celui-ci atteint facilement de 80 à 85 p. 100, et d'autre part, on a pu obtenir que ce rendement élevé s'appliquât à une série de

régimes très variables. C'est ce que montre clairement la figure.

Manœuvre des moteurs. — Les principales manœuvres que l'on a à effectuer avec un moteur de tramway sont le démarrage, le réglage de la vitesse, le stoppage et la marche en arrière.

Démarrage. — Nous avons donné, plus haut, le principe du démarrage. Il se fait en intercalant sur le passage du courant des résistances variables.

Ce système entraînant une perte sèche d'énergie, on peut, sur les voitures à deux moteurs, prendre l'un d'eux comme résistance.

A cet effet, on les alimente tout d'abord en série, sauf à rendre à chacun d'eux son indépendance (mise en parallèle) lorsque le coup de collier du démarrage a été donné.

De cette façon on réduit notablement la résistance de démarrage et l'on réalise, surtout sur les lignes où les arrêts sont fréquents, une économie très sensible[1].

Réglage de la vitesse. — Considérons un moteur de tramway en marche. Le nombre de tours par seconde est donné par la formule

$$e = kn\varphi \qquad \text{d'où} \qquad n = \frac{e}{k\varphi} \tag{5}$$

[1] Nous citerons, à ce sujet, les expériences faites par M. Dierman avec deux moteurs de 25 chevaux de la General Electric Company. En employant des rhéostats on a dépensé, pendant les dix-huit secondes qu'a duré le démarrage, 62,4 ampères moyens, alors qu'en groupant les moteurs en série on n'a plus consommé que 42,9 ampères.

Mais, en vertu de la formule (1), on a $e = E - RI$. Donc on peut écrire

$$n = \frac{E - RI}{k\varphi} \qquad (6)$$

RI est la perte de tension due à la résistance ohmique du moteur. Si le moteur est bien établi, cette perte de tension n'est qu'une très faible fraction de E et on peut la négliger dans l'expression précédente devant E. On aura donc

$$n = \frac{E}{k\varphi} \qquad (7)$$

En se reportant d'autre part à ce que nous avons dit plus haut sur la constance relative de φ on en déduit que, dans un moteur, la *vitesse est proportionnelle à la différence de potentiel aux bornes* [1].

Par conséquent si, au lieu d'une tension E, par exemple 500 volts, on ne donne aux bornes qu'une tension moindre, ce qui s'obtiendra très facilement en faisant passer le cou-

[1] Pour une même tension E, la vitesse est donnée par l'expression

$$n = \frac{E - RI}{K\varphi} \qquad (6)$$

qui, pour des débits normaux, se réduit à $n = \frac{E}{K\varphi}$

Mais ceci n'est vrai qu'autant que le courant circulant dans le moteur est assez intense pour saturer les inducteurs. Pour de petites intensités, le flux φ est proportionnel à I (fig. 14) et de la forme K'I. On a donc :

$$n = \frac{E - RI}{KK'I} = \frac{E}{KK'I} - \frac{R}{KK'}$$

Donc n croîtra très vite si I diminue ou, ce qui revient au même, si le couple diminue. Autrement dit, un moteur en série, que l'on décharge, a tendance à s'emballer.

Mais cet inconvénient est surtout à redouter pour des moteurs isolés, et que l'on abandonne un peu à eux-mêmes, comme ceux d'un atelier.

rant dans des résistances, on diminuera la vitesse proportionnellement. Inversement, on l'augmentera en supprimant les résistances.

Pour cette manœuvre on emploie, sur un tramway, les résistances servant pour le démarrage.

L'inconvénient de cette méthode, c'est que l'on absorbe ainsi inutilement de l'énergie.

Aussi, règle-t-on parfois la vitesse en agissant non plus sur E, mais sur le champ magnétique, c'est-à-dire sur φ. Dans ce cas, comme le montre la formule (7) en diminuant φ on augmente la vitesse et inversement.

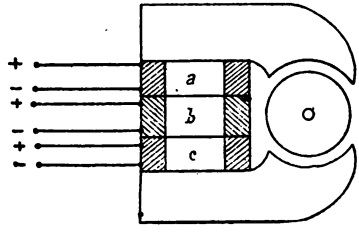


Fig. 147. — Inducteur à galettes.

Pratiquement on diminuera φ en *shuntant* les inducteurs (ce qui dérivera une partie du courant inducteur) ou bien en divisant le circuit inducteur « en galettes » et en les couplant de façon convenable (fig. 147).

Le système de réglage par *série parallèle*, malgré les pertes d'énergie qu'il occasionne, est de beaucoup le plus usité. Un bon wattman diminuera d'ailleurs ces pertes en passant le plus rapidement possible à la marche en parallèle.

Pour y arriver on effectuera (cas le plus général de 2 moteurs) les manœuvres suivantes :

1° Les 2 moteurs sont mis en série sur une résistance variable (démarrage) ;

2° Les 2 moteurs sont en série et la résistance est supprimée ;

3° Les 2 moteurs sont en parallèle sur une résistance variable ;

4° Les 2 moteurs sont en parallèle et la résistance est supprimée (vitesse normale) ;

5° Pour les cas où l'on voudrait atteindre une grande

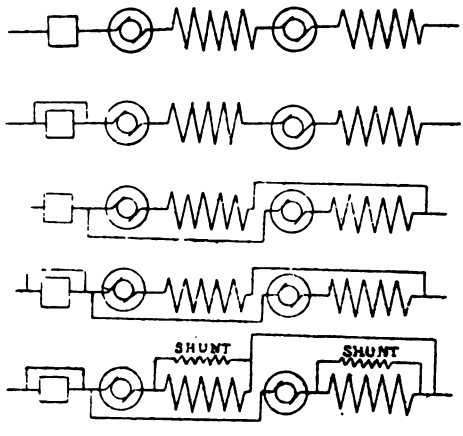


Fig. 148. — Différents groupements des inducteurs avec deux moteurs.

vitesse les deux moteurs seront mis en parallèle et leurs inducteurs seront shuntés avec une résistance.

On peut imaginer d'autres combinaisons. Elles varient avec les constructeurs.

Sur les tramways à accumulateurs, dont les moteurs sont excités en série, on dispose d'un moyen bien simple pour faire varier la vitesse. C'est de faire varier le potentiel aux bornes des moteurs, en divisant la batterie en un certain

nombre de sous-batteries que l'on groupe en série ou en quantité. De cette façon, la manœuvre s'effectue évidemment sans perte aucune d'énergie.

Stoppage. — En coupant brusquement le courant on risquerait de produire des extra-courants dangereux pour la conservation de l'appareillage. Aussi il est bon de n'exécuter cette manœuvre qu'après avoir inséré progressivement dans le circuit des résistances appropriées (celle de démarrage, par exemple).

Nous verrons plus loin, en parlant des freins, comment on peut se servir des moteurs eux-mêmes pour obtenir des arrêts excessivement rapides.

Marche arrière. — Considérons le collecteur d'un moteur excité en série (fig. 149). L'angle de calage des balais se trouvera en arrière de la ligne neutre *xy*, par rapport au sens du mouvement.

Si l'on change le sens du courant dans l'induit ou dans les inducteurs, le sens du mouvement va changer et la ligne des balais se placera suivant *pq*.

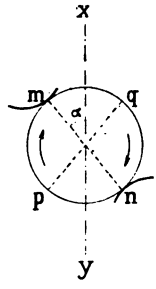


Fig. 149.
Marche arrière.

Par conséquent, pour marcher en arrière, il ne suffira pas seulement de changer le sens du courant soit dans les inducteurs, soit dans l'induit, il faudra aussi faire tourner les balais de l'angle $\pi - 2\alpha$ [1].

[1] En les faisant seulement tourner de l'angle α ils seraient pris à rebrousse-poils.

On évite cette sujétion en employant des moteurs pour lesquels les balais se placent exactement suivant la ligne neutre *xy* [1]. Dans ce cas, le changement de marche s'opère par la simple manœuvre d'un interrupteur.

L'usage est de changer le sens du courant dans l'induit, à l'exclusion des inducteurs, afin de ne pas affaiblir par trop le magnétisme rémanent du moteur.

b) *Moteurs excités en dérivation.* — Ces moteurs, bien qu'ayant de grands avantages, ne sont employés que très rarement pour la traction des tramways.

Ils sont, en effet, d'une construction plus compliquée et plus coûteuse, attendu qu'ils comportent, sur les inducteurs, des enroulements constitués par une très grande longueur de fils fins. Ces fils se cassent, à la longue, et leur isolement n'est pas très commode à maintenir en bon état.

Les moteurs en dérivation ont une vitesse sensiblement constante, quelle que soit la charge. Ils permettent donc de conserver dans les rampes la vitesse normale de marche; mais, à ce moment, il se fait un grand appel de courant, ce qui peut avarier le moteur, surtout s'il y a de la surcharge sur la voiture.

Dans les descentes, en revanche, dès que la vitesse tend à dépasser la vitesse de régime, le moteur agit comme frein, en produisant du courant qui renforce celui de la ligne. Les

[1] Pour pouvoir réaliser cette disposition, il faut que le champ inducteur soit très intense relativement au champ produit par l'induit. Autrement dit, la *réaction d'induit* doit être à peu près nulle.

moteurs en dérivation sont donc des *moteurs à récupération.* C'est pour cela qu'il est indiqué de les adopter pour la traction par accumulateurs ou sur des lignes à crémaillère, par exemple, pour lesquelles la récupération présente un intérêt tout particulier.

Dans un moteur en dérivation le couple est maximum au démarrage. Il faut, à ce moment, prendre des précautions pour que le courant ne soit pas trop intense (rhéostats). Le réglage de la vitesse se fait, comme pour les moteurs en série, par l'insertion de résistances[1].

c) *Moteurs à courants polyphasés.* — Un moteur à courants

[1] Ces particularités ressortent des formules établies précédemment.

Soit toujours E, la différence de potentiel aux bornes. Le courant I, arrivant de la ligne, se divise en deux, l'un i_1 traversant les inducteurs, l'autre i_2 traversant l'induit. Si r_1 est la résistance des inducteurs on aura $i_1 = \frac{E}{r_1}$; donc i_1 sera constant et il en sera de même du flux φ, qu'il produira par son passage dans les fils de l'inducteur. Soit r_2 la résistance de l'induit et e sa force contre-électromotrice. On aura

$$i_2 = \frac{E - e}{r_2} \quad \text{et} \quad e = Kn\varphi$$

D'où

$$n = \frac{e}{K\varphi} = \frac{E - r_2 i_2}{K\varphi}$$

comme pour un régime normal, $r_2 i_2$ est faible vis-à-vis de E, on aura sensiblement $n = \frac{E}{K\varphi}$, c'est-à-dire que n sera constant.

Quant au couple C il est égal à $\frac{e i_2}{2\pi n} = \frac{Kn\varphi i_2}{2\pi n} = \frac{K\varphi}{2\pi} i_2$, c'est-à-dire qu'il est proportionnel à i_2. Au démarrage C est maximum parce que i_2 est également maximum.

Si e tend à augmenter (dans les pentes) i_2 devient négatif, autrement dit, c'est le moteur qui envoie du courant dans la ligne, et cela, en sens inverse du courant d'arrivée, car, même à ce moment, le sens du courant traversant les inducteurs ne change pas.

Enfin la formule $n = \frac{E}{K\varphi}$ montre que la vitesse est proportionnelle au voltage aux bornes; par conséquent, on pourra la faire varier en insérant des résistances sur le circuit.

polyphasés comporte un *système fixe*, produisant un champ magnétique tournant, et un *système mobile* (induit) qui tourne sous l'action du champ tournant et dans lequel le champ développe des courants électriques, comme le fait le primaire

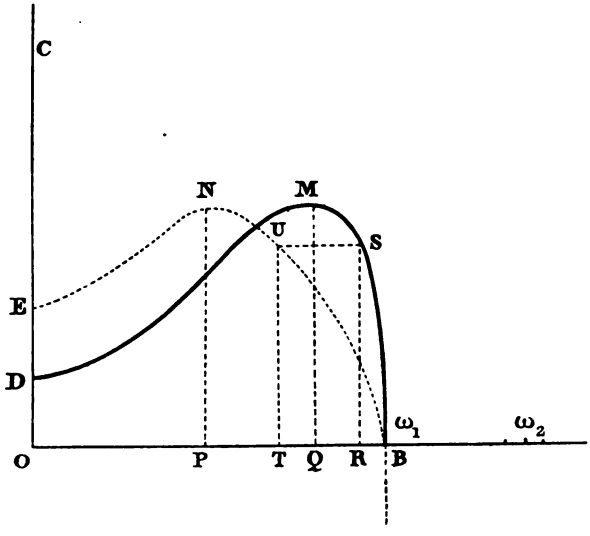


Fig. 150. — Différentes valeurs du couple, dans un moteur polyphasé, quand la vitesse varie.

d'un transformateur de courant alternatif, en agissant sur son secondaire.

Si ω_1 est la vitesse angulaire du champ tournant, ω_2 celle de l'induit, la quantité $\Omega = \omega_1 - \omega_2$ est ce que l'on appelle le *glissement* de l'appareil.

Le couple mécanique, en fonction de la vitesse de rotation de l'induit, peut être représenté par la courbe DMB de la figure 150. Le point B correspond à un glissement nul

($\omega_2 = \omega_1$). D'autre part OD est le couple au démarrage. On voit que, relativement à celui que l'on obtient avec un courant continu, il est faible. Mais on peut l'augmenter en insérant des résistances dans l'induit. On obtiendra alors, par exemple, la courbe ENB qui montre que le couple au démarrage sera OE et non OD.

Mais cette courbe sera moins satisfaisante que la première, car la pleine charge NP correspondra à un glissement PB plus grand que le glissement QB [1]. Or, on sait que le rendement du moteur croît quand le glissement diminue (en général le glissement réalisé dépasse rarement à pleine charge 5 à 6 p. 100 de ω_1). On aura donc intérêt, dès que le moteur aura pris sa vitesse, à retirer la résistance introduite et à retomber sur la courbe DMB.

Pour que le moteur fonctionne avec un bon rendement, il y a avantage à l'employer dans la région MQB. On voit alors que, pour des variations importantes du couple, le moteur conservera sensiblemeat sa vitesse. C'est-à-dire qu'il pourra, sans que l'on ait besoin d'effectuer aucune manœuvre, monter une rampe avec la même vitesse qu'en palier. De même, dans une descente, il aura tendance à produire un couple négatif. Et, alors, c'est le moteur qui enverra du courant dans la ligne, exerçant, à ce moment, un effort de freinage qui préservera de l'emballement.

Le ralentissement s'opère très facilement en intercalant des résistances dans l'induit. Cela se voit aisément sur la

[1] Ces deux longueurs représentent bien des glissements, car QB, par exemple, est égal à OB — OQ, c'est-à-dire à $\omega_1 - \omega_2$.

figure 103. Si l'on suppose, par exemple, que l'on marche avec la vitesse angulaire OR, correspondant au couple RS, en introduisant la même résistance que précédemment, on pourra obtenir le même couple TU, mais la vitesse sera devenue OT, au lieu de OR[1].

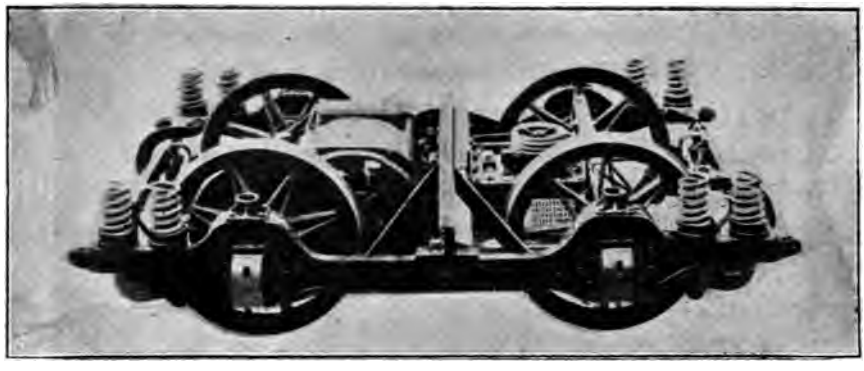


Fig. 151. — Moteur et truck du tramway à courants triphasés de Lugano.

Pour marcher en arrière, on n'a qu'à changer le sens du champ tournant.

Toutes les manœuvres se font à Lugano (courants triphasés) avec la plus grande facilité.

Les moteurs à courants polyphasés se prêtent parfaitement, par leur forme et par leur poids, à leur installation sous la caisse de la voiture.

Nous montrons (fig. 151) le moteur combiné par M. Brown pour le tramway de Lugano. Ce moteur a une puissance de

[1] On pourrait aussi faire varier la vitesse en augmentant ou diminuant le nombre des pôles inducteurs.

25 chevaux. Il est représenté monté sur le truck et actionnant l'un des essieux. On aperçoit, à droite, les résistances de réglage et de démarrage.

Contrôleur. — On appelle *contrôleur* l'appareil qui permet au conducteur — le *wattman* pour employer l'expression

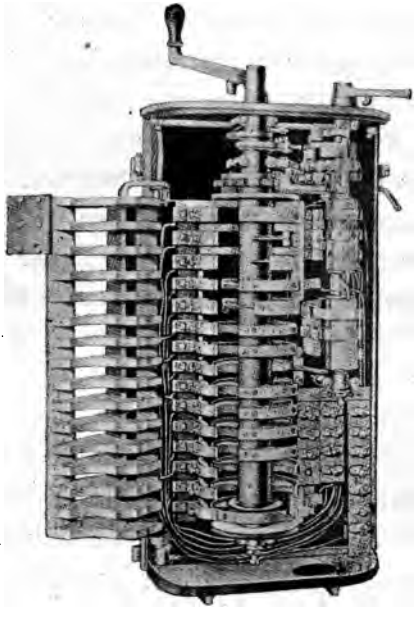


Fig. 152. — Contrôleur ouvert.

américaine — de procéder rapidement à toutes les manœuvres du tramway.

Cet appareil a généralement la forme d'un cylindre vertical (fig. 152). Il se place immédiatement à l'avant de la voiture et comporte une série de contacts en charbon qui envoient

le courant, suivant les cas, dans la résistance de démarrage, dans les moteurs couplés en série, en quantité, dans les shunts des inducteurs, etc...

Le contrôleur permet également la marche arrière ainsi que la suppression d'un moteur hors de service.

Le contrôleur se manœuvre à l'aide d'une manette que l'on arrête sur des crans correspondant aux différents groupements. Il faut aborder les crans franchement, en marquant un petit temps d'arrêt sur chacun d'eux.

Lorsqu'une voiture doit revenir en sens inverse, sans tourner, on la munit de deux contrôleurs, l'un à l'avant, l'autre à l'arrière. Le conducteur n'a qu'à changer de place lorsqu'il est arrivé à l'extrémité de la ligne. Il a naturellement soin, alors, s'il s'agit d'un tramway à trolley, de faire exécuter à la perche une rotation de 180°, de manière que celle-ci se trouve, au moment du départ, inclinée vers l'arrière.

Avec l'archet, cette dernière manœuvre n'est pas nécessaire. Cet appareil se place en effet, de lui-même, dès que la voiture avance, suivant l'inclinaison voulue.

Appareils divers. — Ces appareils comprennent : 1° des *résistances* pour le démarrage et le shuntage des inducteurs. Nous avons expliqué plus haut leur fonctionnement.

Il est intéressant que ces résistances occupent le moins de place possible. On les constitue généralement par des fils de maillechort ou par des rubans en fer serrés et pliés

en zigzag et isolés entre eux par du mica ou de l'amiante [1]. Les résistances étant exposées à chauffer fortement ne doivent pas, évidemment, être voisines de masses combustibles.

2° Des *coupe-circuits* constitués par des fils de plomb ou de cuivre qui doivent fondre quand le courant atteint une intensité donnée, ou encore par des interrupteurs automatiques qui coupent le courant dès qu'il devient dangereux.

Le but est de préserver les moteurs contre un courant exagéré, comme il pourrait s'en produire au moment d'un effort excessif.

Avec des coupe-circuits constitués par des fils fusibles, on doit prendre des précautions pour qu'il ne se forme pas un arc électrique lorsque les fils fondent. La Cie Thomson-Houston dispose à cet effet, en regard des coupe-circuits, un électro-aimant qui souffle l'arc dès qu'il se produit.

3° Des *parafoudres*, appareils indispensables sur les tramways à conducteurs aériens. Car lorsque le tonnerre tombe sur les fils, il peut, par le trolley ou l'archet, pénétrer dans les voitures.

4° Des *interrupteurs principaux*, situés sous le toit de la plate-forme et que l'on dispose souvent pour les faire servir comme *interrupteurs automatiques*, etc.

Freins. — La rapide allure à laquelle les tramways électriques peuvent circuler a, comme corollaire, l'emploi de freins très puissants.

[1] On emploie aussi, sur quelques lignes, des résistances liquides.

On doit recommander d'avoir sur les voitures au moins deux systèmes de freins.

Les freins les plus usités sont des freins à patin ou des freins à collier de serrage. Mais on peut profiter de ce que les moteurs peuvent former eux-mêmes freinage pour les faire concourir à l'arrêt de la voiture.

D'abord, comme on l'a vu plus haut, un moteur de tramway n'est autre qu'une dynamo, qui reçoit du courant de la station centrale, quand elle remorque la voiture, et qui peut au contraire en fournir quand, le courant une fois coupé, elle continue à tourner sous l'impulsion acquise. En envoyant ce courant dans des résistances, la dynamo subira une force retardatrice considérable et la voiture s'arrêtera. Plus la résistance sera faible et plus l'arrêt se fera avec rapidité.

Le freinage électrique s'obtient également et même plus rapidement en mettant en court-circuit les deux moteurs l'un sur l'autre. L'action est excessivement brusque, car les moteurs tendent à tourner en sens inverse l'un de l'autre. On n'opère ainsi, généralement, qu'en cas de danger.

Comme autre système de freinage, dans lequel l'électricité intervient, nous citerons les *freins électro-magnétiques*, qui peuvent être combinés, par exemple, comme il suit :

a) Le courant produit par les moteurs est envoyé dans des électro-aimants placés en regard d'un plateau en fonte calé sur l'essieu. Les courants de Foucault engendrés dans le plateau produisent une force retardatrice suffisante pour arrêter la voiture.

b) Le freinage est produit par des électro-aimants placés en regard de la jante des roues.

c) Les électro-aimants sont placés au-dessus et à petite distance des rails. C'est par ceux-ci que se ferme le champ magnétique et l'action est celle d'un frein à sabot. Parfois (système Westinghouse) le sabot agit simultanément sur la

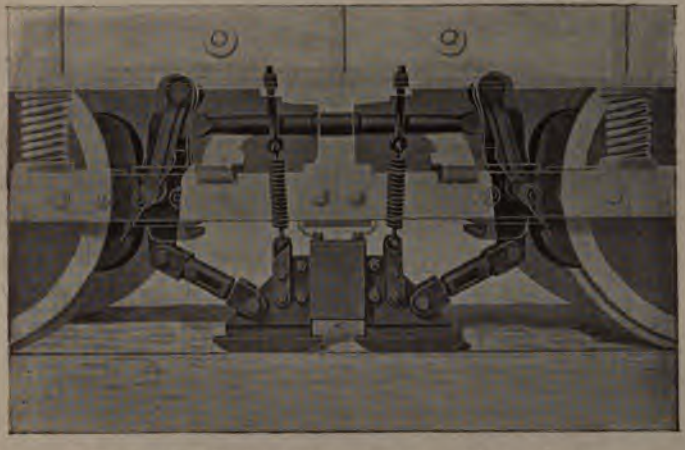


Fig. 153. — Frein électro-magnétique Westinghouse.

timonerie et produit indirectement le serrage des roues (fig. 153). Le freinage est alors à double effet.

Il est à remarquer que ces divers systèmes de freinage électro-magnétique peuvent également s'appliquer aux remorques, qu'il suffit de connecter électriquement avec les automotrices.

Un excellent système de freinage, avec ou sans remorque, est le *freinage à l'air comprimé*. Mais la difficulté, dans ce

cas, est de se procurer l'air comprimé nécessaire au fonctionnement des freins.

Si la ligne n'est pas très longue on pourra s'approvisionner d'air au terminus.

Si, au contraire, on veut comprimer l'air sur la voiture on aura recours :

Soit à une pompe à air, que met en mouvement un excentrique calé sur l'essieu.

Soit à des compresseurs électriques, ensemble d'un petit moteur et d'un compresseur.

Ce dernier système, malgré sa complication, est encore préférable. On peut le combiner avec un interrupteur automatique, qui arrête le petit moteur dès que la pression de l'air atteint une certaine valeur limite (6 à 8 kg).

Éclairage et chauffage des voitures. — Il est tout indiqué d'éclairer les tramways électriques à l'électricité.

Comme on n'a pas besoin de foyers très intenses, on prend des lampes à incandescence de 10 à 16 bougies. Ces lampes fonctionnent généralement sous une tension de 100 à 110 volts; on est amené, par suite, sur les lignes où l'on se sert de courant à 500 volts, à mettre 5 lampes en série. C'est plus qu'il n'en faut pour éclairer parfaitement la voiture.

Sur quelques lignes on éclaire aussi les voitures à l'aide d une petite batterie d'accumulateurs que l'on charge à l usine (Bristol).

Le chauffage électrique est encore peu répandu. Ce n'est

pas qu'il ne soit excessivement commode, mais il est assez coûteux.

Cependant certaines compagnies américaines emploient des *radiateurs* qu'elles placent sous les banquettes et qui donnent d'excellents résultats. Comme dans tous les appareils de chauffage électrique, l'organe principal est une résistance que l'on fait traverser par une dérivation du courant.

La figure 154 représente un radiateur fabriqué par la

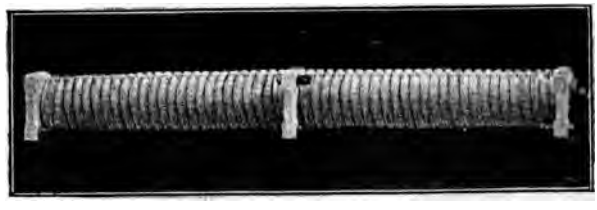


Fig. 154. — Radiateur électrique pour le chauffage des voitures.

Consolidated Car Heating Company, d'Albany (États-Unis). Il est constitué par des fils de fer galvanisé enroulés sur un cylindre en porcelaine. Un commutateur permet d'insérer sur le circuit plus ou moins de résistance et par suite de régler à volonté la quantité de chaleur dégagée.

Des appareils de ce genre sont employés à Boston. Mais on ne les met généralement en charge qu'au moment où l'activité de la circulation se ralentit. On a remarqué, en effet, que lorsque les voitures étaient pleines de voyageurs elles se maintenaient, même par les grands froids, à une température suffisante.

Fenders. — On désigne ainsi des filets que l'on place à

l'avant des voitures et qui ramassent les passants tombés accidentellement sur la voie.

Pour adoucir le choc que produit ce filet au moment où il agit, on le munit d'un cadre élastique et même d'un bourrelet pneumatique comme celui de la figure 155.

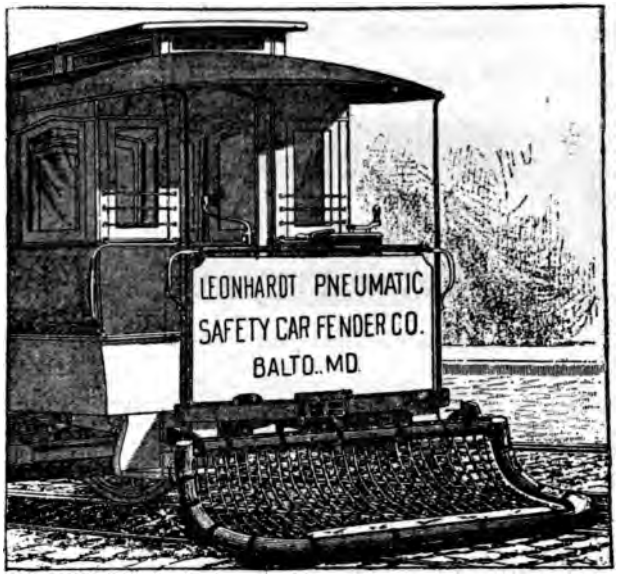


Fig. 155. — Fender avec bourrelet pneumatique,

Les fenders sont assez difficiles à installer, en ce sens que s'ils rasent de trop près le sol ils sont soumis à des soubresauts qui les détériorent rapidement et qui les empêchent de fonctionner convenablement. Si au contraire ils sont trop élevés, ils risquent de passer par-dessus les personnes à ramasser et ils peuvent même les blesser grièvement.

Aussi, très souvent, le filet est-il relevé verticalement le long de la voiture, et le conducteur ne le rabat qu'en cas de danger (fig. 156).

Dans un ordre d'idées analogue on construit des fenders horizontaux qui peuvent se rentrer sous la voiture et que le

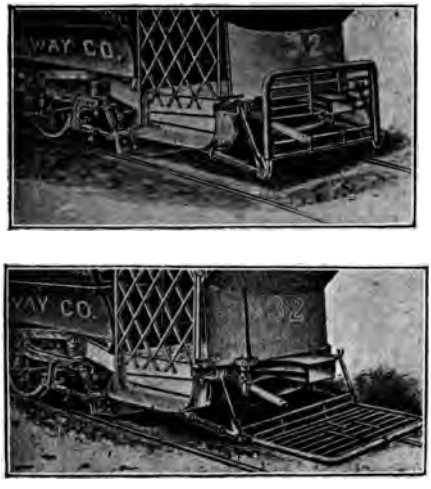


Fig. 156. — Fender à rabattement.

conducteur fait jaillir en avant par un simple mouvement du pied ou des genoux (fig. 157).

Les fenders sont surtout employés aux États-Unis où, en raison de la grande vitesse atteinte dans les rues, ils rendent d'incontestables services.

Comme preuve, on peut citer les chiffres suivants relevés par M. H. Tavernier [1].

[1] *Les Tramways en Amérique.* Annales des Ponts et Chaussées, janvier 1896.

En 1893, la West End Street Railway Company, de Boston, dont les voitures sont munies de fenders, eut 347 accidents dont 1,7 p. 100 seulement furent suivis de mort. Ce rapport

Fig. 157. — Fender glissant.

s'est au contraire élevé à 12 p. 100 pour l'ensemble des tramways électriques de l'État de Massachusetts.

Voitures pour l'enlèvement des neiges. — Certaines villes

Fig. 158. — Chasse-neige électrique.

des États-Unis ont à supporter, en hiver, des températures

excessivement rigoureuses. Les chutes de neiges étant abondantes, il faut souvent procéder à un dégagement rapide des voies.

On y arrive facilement à l'aide de *charrues à neige* ou

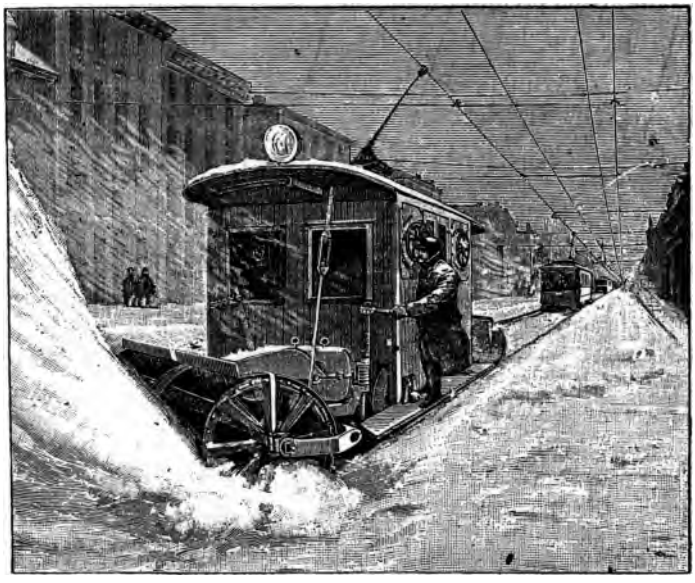


Fig. 159. — Balai-brosse électrique

encore à l'aide d'appareils rotatifs analogues à celui que représente la figure 158. La neige, découpée par une sorte d'avant-bec, est chassée ensuite sur l'un des côtés de la voie par un ventilateur électrique [1].

Quand la couche est peu épaisse un simple balayage suffit. On emploie alors un *balai-brosse* en fils d'acier, placé obli-

[1] *Les chemins de fer à l'Exposition de Chicago*, par MM. Grille et Falconnet.

quement par rapport à l'axe de la voie, de telle façon qu'en tournant il puisse rejeter la neige en dehors des rails (fig. 159). Un rabatteur en tôle guide le jet.

Ces divers appareils sont toujours mis en mouvement par un moteur électrique, indépendant de celui qui fait avancer la voiture qui les porte. On obtient ainsi une action très énergique, même quand la voiture est obligée de ralentir.

L'enlèvement des neiges constitue pour certaines compagnies une très grosse dépense annuelle. C'est ainsi que la West End Street Railway C°, de Boston, dépense annuellement, pour ce service, de 300 000 à 500 000 fr. Le nombre de ses voitures chasse-neige dépasse 160.

Voitures diverses. — Une voie pour tramways électriques peut souvent être utilisée par des voitures effectuant un service tout autre que le transport des voyageurs.

C'est ainsi que dans certaines villes des États-Unis on se sert des voies de tramway pour faire circuler des voitures d'arrosage à grande capacité qui arrosent rapidement une grande étendue de chaussée (fig. 160).

La poste emprunte également parfois les rails des tramways, comme à Philadelphie (fig. 161) et à Saint-Louis[1]. Ailleurs on a organisé de cette façon un service de distribution des petits paquets (Boston).

Enfin quelques villes — bien américaines — possèdent

[1] Le tramway-poste de Saint-Louis fait 190 km par jour à une vitesse de 20 km. Les facteurs attendent sur certains points et reçoivent, toute triée, la correspondance qu'ils doivent distribuer.

même des corbillards électriques, très décemment aménagés,

Fig. 160. — Automotrice pour l'arrosage.

et qui choquent d'autant moins la population qu'elle est

Fig. 161. — Tramway poste de Philadelphie.

habituée à voir les voitures des pompes funèbres circuler dans les rues au grand trot.

Comme accessoire d'une ligne de tramway, nous devons citer les voitures qui servent pour l'inspection et la réparation des conducteurs aériens.

Ces voitures doivent supporter une plate-forme très élevée,

Fig. 162. — Voiture à plate-forme démontable pour la visite et l'entretien des conducteurs aériens.

afin que les ouvriers puissent atteindre facilement les isolateurs ainsi que les pièces de croisement et d'aiguillage.

Différents types sont adoptés. Nous représentons par la figure 162 une voiture à plate-forme démontable qui se loge facilement dans les dépôts.

CHAPITRE VIII

DÉPOTS ET ATELIERS

Choix du dépôt. — Dispositions générales. — Visite et lavage du matériel. — Atelier. — Four à sable. — Magasin. — Matériel de secours. — Distribution électrique. — Personnel.

Choix du dépôt. — Si le réseau de tramways que l'on exploite se réduit à une ligne unique, on aura évidemment avantage à placer le dépôt dans le voisinage immédiat de la ligne, afin de supprimer les kilomètres haut-le-pied que devraient, sans cela, parcourir les voitures pour se rendre du dépôt sur la ligne et vice-versa.

Avec un réseau comportant un certain nombre de lignes, on ne pourrait satisfaire à la condition ci-dessus qu'en multipliant les dépôts.

Or l'expérience démontre que, de même qu'il est économique de concentrer la production de la force motrice dans une grande usine convenablement placée, de même on a avantage à créer un vaste dépôt central, commun à toutes les lignes d'un même réseau.

De cette façon la surveillance générale est grandement facilitée ; les réparations portant, d'autre part, sur un plus grand

nombre de voitures, peuvent être faites dans des conditions particulièrement économiques.

Tout au plus peut-on alors examiner la création de petites remises aux extrémités des lignes étendues et sur lesquelles on doit, à partir du terminus, organiser un service très matinal. Mais ces remises ne doivent pas être des ateliers de réparation. Il faut réserver cette partie de l'entretien pour le dépôt central.

Si, en raison de la configuration du réseau, un tel programme ne peut pas être rigoureusement appliqué, il faut chercher à s'en rapprocher le plus possible.

Une autre recommandation, c'est que le terrain du dépôt doit être choisi de façon à permettre des extensions ultérieures. Le trafic d'un tramway croît généralement avec le temps et il faut avoir en vue une augmentation très probable du matériel.

Dispositions générales. — Les dispositions générales d'un dépôt varient avec la configuration du terrain occupé. Il faut veiller à ce que les voies sur lesquelles les voitures doivent stationner soient autant que possible de niveau, afin d'éviter qu'à la suite d'un desserrage intempestif des freins, les voitures ne partent à la dérive.

Généralement un dépôt présente une série de voies parallèles, raccordées avec la ligne par un faisceau de voies en éventail (fig. 163).

L'inconvénient de cette disposition c'est que la succession des aiguilles et des croisements immobilise une certaine sur-

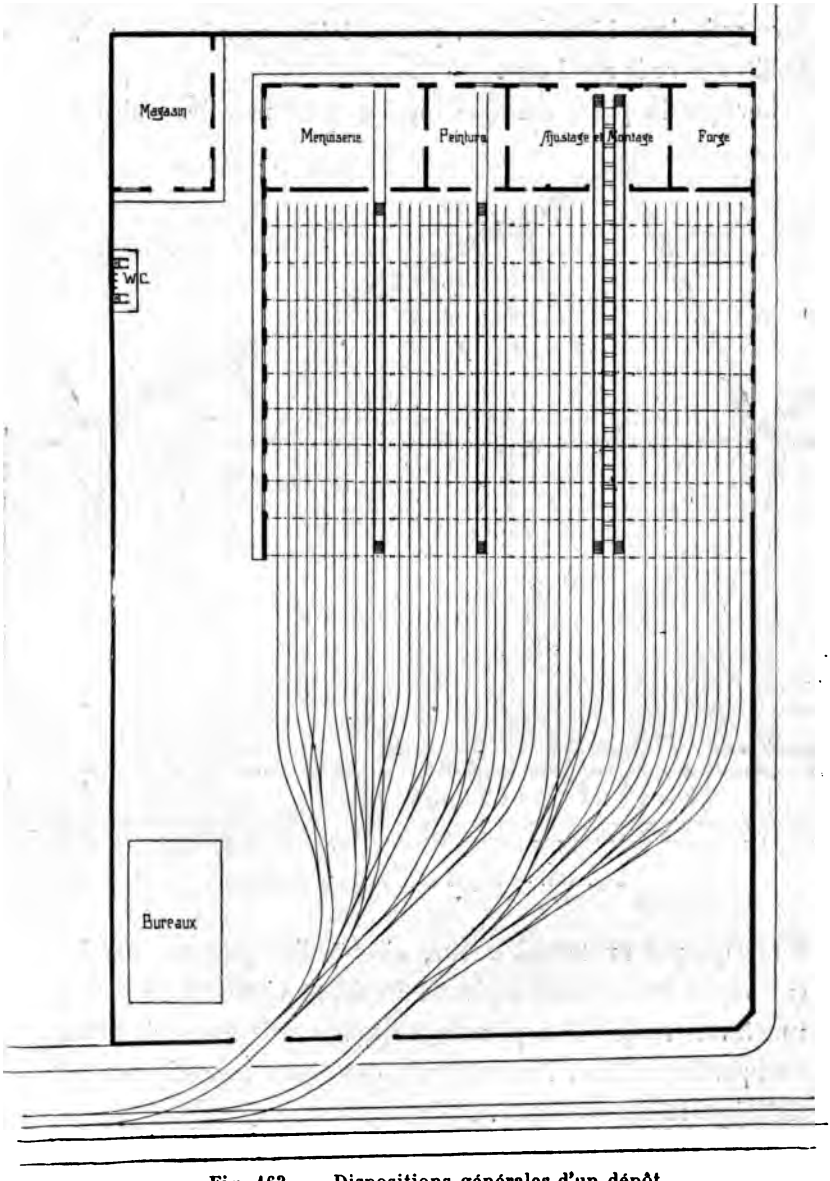


Fig. 163. — Dispositions générales d'un dépôt.

face qui, dans bien des cas, pourrait être avantageusement utilisée pour le remisage.

Lorsque la place manque on dessert toutes les voies de

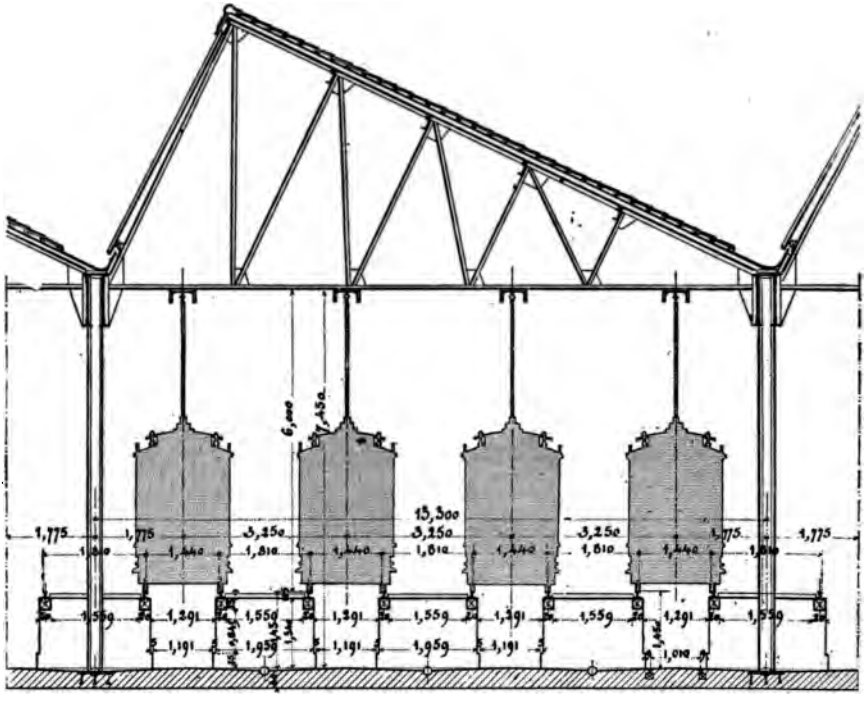


Fig. 164. — Dépôt avec fosse générale.

remisage par un transbordeur, c'est-à-dire par un chariot sur lequel les voitures arrivant au dépôt viennent se placer une à une et que l'on pousse jusqu'à la voie que doit venir occuper la voiture. Dans ce cas une seule voie d'accès est théoriquement suffisante. Mais on conçoit que le remisage

des voitures doit être ainsi forcément assez long, bien que l'on puisse activer les manœuvres en rendant le chariot automoteur, à l'aide d'un équipement électrique. Aussi ne doit-on employer le transbordeur que lorsqu'il est absolument impossible de faire autrement. L'entrée en « éventail » est bien préférable, et, dans un ordre d'idées analogue, on peut recommander de prévoir également une sortie spéciale en éventail, afin que les voitures rentrées les premières au dépôt puissent assurer, le lendemain matin, les premières sorties. De cette façon, on peut, sans manœuvres compliquées, équilibrer le travail du matériel.

Les voies de remisage sont naturellement couvertes afin de protéger les voitures contre les intempéries. Il n'y a pas à faire de luxe de ce côté. Généralement on adopte un abri en fer, très simple, avec points d'appui calculés de telle façon que l'abri embrasse de quatre à cinq voies. Bien entendu cet abri doit être vitré ; il est souvent avantageux de n'en vitrer qu'un seul versant auquel on donne alors une inclinaison plus forte (fig. 164). Ce système assure un bon écoulement des eaux et un bien meilleur éclairage des parties couvertes, surtout si l'on a soin de diriger la partie vitrée vers le nord.

Visite et lavage du matériel. — Le dépôt n'est pas seulement un lieu de remisage pour le matériel, c'est aussi l'endroit où les voitures sont visitées, lavées, entretenues.

Pour faciliter la visite du matériel on recommande d'installer de nombreuses fosses de visite, ou mieux de faire en quelque sorte du dépôt comme une fosse générale. Dans ce

cas les rails sont placés sur longrines et celles-ci sont soutenues soit par des charpentes en fer longitudinales, soit par des piliers en briques. Les charpentes en fer donnent plus de place, mais elles sont plus difficiles à régler, surtout si, par mesure d'économie, on les fait très légères.

Comme il est nécessaire de pouvoir circuler entre les voitures, au niveau du sol, on place dans l'entrevoie un plancher mobile.

Les fosses doivent être suffisamment profondes pour que l'on puisse s'y mouvoir facilement. Il est bon également de pouvoir y faire circuler un petit chariot sur lequel on place les moteurs, quand on a à les enlever et à les transporter à l'atelier. Ce petit chariot ou « pit-jack » est muni d'une plate-forme que l'on peut élever verticalement à l'aide d'une vis sans fin. On amène cette plate-forme jusqu'à toucher le moteur à enlever. On le déboulonne et l'on abaisse ensuite la plate-forme jusqu'à pouvoir passer sous les roues.

Dans le fond de la fosse règne, pour la circulation du chariot, une petite voie ferrée. On peut ainsi transporter facilement le moteur jusqu'à une grue pivotante qui sert à l'amener au niveau du sol.

Le lavage des voitures s'effectue sur place et environ tous les deux jours pour une voiture. Pour faciliter l'écoulement de l'eau et des résidus on aura soin de maçonner les pavages s'il en existe. Il est préférable, à ce point de vue, d'employer des revêtements en ciment ou en bitume, car des joints sont toujours une cause de dégradation, sans compter que, forcément, les malpropretés s'y accumulent.

Atelier. — L'atelier est le complément indispensable du dépôt. On se trouve bien de le placer à l'extrémité des voies de remisage, quelques-unes de celles-ci pénétrant même dans le bâtiment afin de pouvoir y amener, par rails, les voitures à réparer.

Les baies par lesquelles les voitures pénètrent doivent pouvoir se fermer avec des rideaux métalliques analogues à ceux qui sont employés pour les devantures des boutiques.

On a ainsi l'avantage de bien isoler l'atelier du dépôt, ce qui est indispensable pour la surveillance. Ensuite, on peut alors chauffer l'atelier pendant l'hiver, ce qui assure un travail meilleur et plus régulier.

L'atelier — ou tout au moins une partie — doit posséder un pont roulant pour levage des voitures. On peut ainsi, très rapidement, séparer la caisse du châssis et dégager toutes les parties cachées de la voiture.

L'atelier comprend généralement :

Une forge ;

Un atelier pour les machines-outils ;

Un atelier pour la menuiserie ;

Un atelier pour la peinture et le vernissage ;

Un atelier pour le bobinage des moteurs.

Cette dernière partie de l'atelier pourrait être supprimée si l'on avait, à proximité, une société d'appareillage électrique acceptant d'effectuer les réparations à bon compte. Mais, généralement, les prix demandés sont très élevés et l'on a intérêt à procéder dans le dépôt même aux bobinages. On entend par là la réfection à neuf des bobines des inducteurs

des moteurs. Les fils isolés constituant les bobines et qui sont soumis à des régimes très durs ainsi qu'à des échauffements prolongés se détériorent forcément avec le temps. Un rebobinage des inducteurs est généralement nécessaire tous les douze à quinze mois.

Il faut également, pour un moteur, procéder, après une certaine durée de service, à la réfection de l'induit et, de temps en temps, rafraîchir le collecteur. Le nettoyage journalier de cet organe se fait très facilement au papier de verre, en enlevant le couvercle de l'enveloppe qui le protège et en faisant circuler la voiture sur une voie de manœuvre.

Le collecteur ainsi que les balais doivent être vérifiés tous les jours. On doit également porter toute son attention sur les nombreux câbles reliant le contrôleur aux moteurs et aux résistances. Si ces câbles sont mal fixés, ils peuvent frotter contre certaines saillies des trucks, se dénuder et provoquer des courts-circuits. Il arrive encore qu'étant peu à peu gagnés par la graisse il se forme avec les poussières métalliques provenant du freinage, comme une sorte de cambouis qui ronge l'isolant et facilite l'inflammation des couches protectrices.

Le contrôleur doit être entretenu avec le plus grand soin. Un bon contrôleur représente des années de tâtonnements et de perfectionnements. C'est la partie de l'équipement qui a le plus de tendance à se détériorer, ce qui se conçoit, quand on considère le grand nombre de ruptures de courant que cet organe a pour mission de réaliser.

Enfin, on doit spécialement appeler l'attention sur l'entretien des paliers des moteurs. En cas d'usure anormale le jeu de quelques millimètres existant entre l'induit et l'inducteur peut tomber à zéro. Le frettage est attaqué et il se produit un court-circuit.

Nous n'avons rien de spécial à signaler en ce qui concerne les caisses, les trucks et les essieux montés. Comme dans tous les systèmes de tramways en usage il faut prévoir le passage, au tour, des roues dont les bandages se sont déformés et, au bout d'un certain temps, le changement même des bandages. Une roue ne doit pas être passée au tour trop tardivement, car sans cela, on est obligé d'enlever trop de matière pour lui redonner son profil primitif.

Il est d'usage, dans les dépôts bien tenus, de consigner toutes les réparations que l'on effectue sur les voitures dans un *livre de motrices*. De cette façon on peut, en cas d'avarie, retrouver facilement les réparations déjà faites et voir si les avaries constatées ne sont pas imputables à un mauvais travail de l'atelier.

Four à sable. — On ne peut pas, pour le fonctionnement des sablières, employer du sable quelconque. Il faut que le sable choisi soit fin et ne s'agglutine pas comme le ferait du sable humide. En outre, du sable ordinaire risquerait, par les grands froids d'hiver, de se prendre en masse et de ne plus s'écouler par les tuyaux d'évacuation.

Pour ces diverses raisons on chauffe le sable avant d'en charger les sablières. Le sable ainsi débarrassé de son hu-

midité doit être conservé dans un endroit sec et couvert.

Le four à sable ne présente rien de particulier. C'est une sorte de grande cuvette en maçonnerie réfractaire, sur laquelle on place le sable à sécher et qui est chauffée par en dessous. Il est naturellement très sage de placer le four à sable dans une partie un peu isolée, de manière à ce qu'il ne soit voisin ni des dépôts d'huile, ni de l'atelier de menuiserie.

Magasin. — Le magasin est l'entrepôt de toutes les matières qui servent aux réparations et à l'entretien du matériel. Il n'est pas spécial aux tramways électriques.

Un magasin bien tenu est la caractéristique d'une bonne exploitation.

Les matières, au fur et à mesure de leur réception, sont portées sur un *registre d'entrée*, puis sur un *grand livre*. Le même grand livre résume également les sorties, en sorte que, par différence, on peut avoir, à tout moment, la situation des approvisionnements. Les sorties sont inscrites tout d'abord sur un *registre de sortie*, qui est tenu comme un journal. Concurremment avec la sortie, s'effectue la répartition des matières entre les différents comptes : trucks, moteurs, caisse, etc..... On ne saurait trop recommander d'effectuer cette ventilation avec soin et sincérité, car elle constitue la base des situations mensuelles des dépenses.

Deux fois par an on dresse l'*inventaire* du magasin. C'est en somme le résumé du grand livre, résumé que l'on rapproche alors des matières en existence.

Matériel de secours. — Dans tout dépôt il faut disposer d'un *matériel de secours*, afin de pouvoir venir en aide rapidement aux voitures momentanément immobilisées par suite de déraillements, de tamponnements, ou autres accidents.

Le matériel se compose de crics, de vérins, de pinces et autres appareils.

Il y a le plus grand intérêt à pouvoir se transporter avec rapidité sur le lieu de l'accident. Si l'on emploie une voiture à chevaux on devra tenir les harnais tout préparés, comme dans les écuries des casernes de pompiers. Maintenant, on a plus avantageusement recours à des automobiles à pétrole, qui permettent de se transporter trois à quatre fois plus vite qu'avec des voitures à chevaux.

Distribution électrique. — Il faut profiter de ce que l'on a le courant à bon compte pour l'utiliser le plus possible dans le dépôt et les ateliers.

D'abord on a recours à une ligne aérienne pour distribuer le courant au-dessus des voies. Sous les parties couvertes règne également une ligne aérienne. Mais certaines précautions sont à prendre pour que les perches du trolley, en cas de déraillement, ne viennent pas butter contre les charpentes métalliques et provoquer des courts-circuits.

Une disposition à recommander consiste à placer au-dessus des câbles de longues goulottes en bois qui retiennent la roulette du trolley (fig. 164).

Des courts-circuits ne sont pas rares dans un dépôt. Pour éviter qu'ils ne produisent de répercussion sur le restant

de la ligne il est bon de commander l'entrée du courant dans le dépôt par un disjoncteur.

Dans un ordre d'idées analogue on établira une canalisation spéciale pour l'éclairage et la force motrice.

L'éclairage doit être abondant, car le travail se trouve alors facilité. On éclairera les fosses par des rangées de lampes fixées sur les longrines. En outre, des prises de courant seront ménagées afin qu'à l'aide de lampes mobiles et de fils souples, on puisse éclairer les parties cachées des voitures.

L'électricité est évidemment indiquée pour actionner le ventilateur de la forge, les diverses machines-outils de l'atelier et le transbordeur, s'il en existe.

Si les voitures sont freinées à l'air comprimé et que cet air comprimé ne soit pas fabriqué en cours de route, on aura, dans le dépôt, un petit compresseur électrique, afin de pouvoir opérer le chargement des réservoirs.

Personnel. — Un dépôt est dirigé par un chef de dépôt, généralement logé dans le dépôt même et qui est assisté d'un magasinier comptable, d'un contremaître électricien et d'un contremaître mécanicien.

Les équipes se répartissent en équipes de jour et en équipes de nuit. Il faut réduire ces dernières au strict minimum, car l'expérience prouve que le travail de nuit est toujours plus mal fait et coûte beaucoup plus que le travail de jour.

Il y a généralement beaucoup d'économie à faire dans les

dépôts, le travail étant mal réparti, ou étant confié à des ouvriers n'ayant pas une compétence professionnelle suffisante.

Si l'on prend comme type un dépôt de 100 voitures, par exemple, le personnel dont on aura besoin sera au plus :

Travail de jour : 20 ajusteurs, 4 ouvriers pour les freins, 4 laveurs, 2 peintres, 4 charpentiers-menuisiers, 4 ajusteurs-mécaniciens, 2 bobineurs, 4 machinistes, 2 forgerons, 2 aides, 1 homme pour le four à sable.

Travail de nuit : 2 visiteurs pour les contrôleurs, 4 visiteurs pour les moteurs, 6 visiteurs pour les freins et les trucks, 2 graisseurs, 10 laveurs.

Au dépôt sont souvent rattachés :

1° Le personnel chargé de l'entretien des voies ;

2° Le personnel chargé de la conduite des voitures et des perceptions.

Pour l'entretien des voies un cadre réduit, mais composé de bons ouvriers, est seulement nécessaire. Lorsqu'un travail nécessitera des manœuvres d'ensemble on complétera les équipes par des ouvriers payés à la journée.

Une voie de tramway n'a pas besoin d'être entretenue avec le même soin qu'une voie de chemin de fer. Il semble également que l'on puisse beaucoup économiser sur le nettoyage des voies et des rails, nettoyage qui n'est pas aussi nécessaire qu'on le croit généralement.

Le personnel des conducteurs et des receveurs, naturellement fort nombreux pour un dépôt de 100 voitures, ne doit

pas se mélanger au reste du personnel. Il doit être cantonné dans un corps de garde où chaque homme dispose d'une petite armoire pour y déposer ses habits. On a l'habitude de donner une tenue aux conducteurs et aux receveurs. En ce qui concerne les premiers nous ne pouvons approuver l'usage qui consiste à leur délivrer des vêtements de drap, du même modèle que celui des receveurs. Un conducteur a trop l'occasion de se salir pour pouvoir conserver longtemps propre un costume semblable. Il vaut mieux lui donner un costume de mécanicien en forte toile avec boutons d'ordonnance et casquette d'uniforme.

Le corps de garde doit être muni de lavabos et, bien entendu, de water-closets. Dans certaines grandes installations on a établi comme de petites salles de chauffe, pour le séchage des habits et des souliers des hommes.

On se trouve bien — comme dans toutes les branches de l'industrie d'ailleurs — de donner aux hommes un peu de confortable. Ils n'en aiment que mieux leur métier et s'attachent davantage à la Compagnie.

CHAPITRE IX

PRODUCTION, TRANSPORT ET TRANSFORMATION DE L'ÉLECTRICITÉ

Puissance d'installation. — Stations centrales pour alimentation directe. — Emploi des accumulateurs dans les stations centrales. — Feeders à basse tension. — Stations centrales pour transport de force. — Feeders à haute tension. — Sous-stations de transformation.

Puissance d'installation. — Le courant électrique consommé par les voitures est produit dans des stations centrales dont l'importance dépend de celle du réseau à alimenter.

Nous examinerons d'abord le cas le plus général, c'est-à-dire celui d'une *station centrale à courant continu*, déversant directement son courant (à 550 ou 600 volts) dans un réseau à alimenter.

Pour une première approximation on comptera une puissance à l'usine de 10 à 20 kilowatts (sans la réserve) par voiture de 50 places, selon qu'il s'agira d'un très grand réseau, avec départs rapprochés, ou d'une installation très modeste (une dizaine de voitures en service).

Si l'on veut calculer exactement la puissance de l'usine, on partira des formules et coefficients donnés dans le chapitre II et on calculera, d'après le profil en long, le travail absorbé par une voiture pour effectuer tout le trajet. Connais-

sant, d'autre part, la durée de ce trajet, on en déduira la puissance moyenne.

On obtiendra la puissance instantanée maxima demandée à l'usine en supposant les voitures réparties sur le réseau, selon l'horaire, dans les conditions les plus défavorables.

Ces calculs seront effectués en tenant compte :

1° Du rendement des moteurs des voitures (70 à 80 p. 100) ;

2° De la perte en ligne et dans les feeders (ordinairement 10 p. 100) ;

3° Du rendement de l'usine qui peut varier dans de très grandes limites, mais qui est rarement supérieur à 70 p. 100.

Ces divers coefficients, combinés entre eux, montrent que le rendement total d'un réseau n'atteindra que très exceptionnellement 50 p. 100. En général, il sera inférieur à 40 et parfois même à 30 p. 100 [1].

Il est nécessaire d'expliquer pourquoi les variations du rendement de la station centrale peuvent être aussi étendues.

Supposons une usine n'alimentant qu'une seule voiture. Le travail, nul aux arrêts, va s'élever brusquement au démarrage; il décroîtra ensuite, passera par zéro quand le tramway s'arrêtera pour prendre des voyageurs, s'élèvera de nouveau au départ, etc.

Ce sont là, pour la ou les machines de l'usine, de très mauvaises conditions de fonctionnement. Elles se traduiront, naturellement, par un rendement déplorable.

[1] *Annales des Ponts et Chaussées*, janvier 1896.

Si plusieurs voitures sont à la fois en service, la situation va se trouver sensiblement améliorée. Il sera excessivement rare, en effet, que celles-ci s'arrêtent ou démarrent toutes en même temps. La puissance instantanée se rapprochera donc de la puissance moyenne. Néanmoins de grandes variations seront encore inévitables.

Il n'y a, en réalité, que sur les très grands réseaux où les variations de consommation de chaque voiture se perdent dans la consommation générale et où, par suite, les machines peuvent travailler constamment dans des conditions voisines de la pleine charge, c'est-à-dire dans des conditions correspondant à leur maximum de rendement.

Les stations centrales n'ont pas seulement à faire face à des variations de consommation instantanées. On doit en outre remarquer que, suivant l'heure de la journée, le réseau se trouvera plus ou moins chargé. Mais, à ce point de vue, elles sont dans une situation bien préférable à celle des usines électriques alimentant uniquement des réseaux d'éclairage.

Celles-ci n'ont, en effet, à donner leur grand effort que pendant une courte période d'allumage (trois à quatre heures) et, pendant le reste de la journée (à moins de charger des accumulateurs), elles restent à peu près inutilisées.

Dans toute station centrale une *réserve* est indispensable. On la prend ordinairement égale à 1/3 de la puissance d'installation strictement nécessaire.

Station centrale pour courant continu. — Une description complète du matériel employé dans les stations centrales

nous entraînerait trop loin. Nous nous bornerons à indiquer les principales conditions à réaliser.

a) *Dynamos.* — Les dynamos doivent être très robustes, afin de supporter aisément les variations de la consommation. Comme il est désirable de pouvoir les accoupler directe-

Fig. 165. — Dynamo multipolaire avec accouplement par courroie.

ment aux moteurs, afin de supprimer les transmissions par courroies (lesquelles absorbent de 10 à 15 p. 100 de la puissance), on sera généralement conduit à adopter des dynamos multipolaires (fig. 165 et 166).

Le mode d'excitation le plus employé est l'*excitation compound*, c'est-à-dire que les inducteurs portent deux enroulements : un à gros fil traversé par le courant de la machine, un à fil fin traversé par une dérivation. En combinant con-

venablement ces deux enroulements, on arrive à obtenir un voltage sensiblement constant, quelle que soit la charge. On corrige au besoin les petites irrégularités, à l'aide d'un rhéostat que l'on insère sur l'enroulement en fil fin des inducteurs.

L'enroulement Compound s'impose en raison des varia-

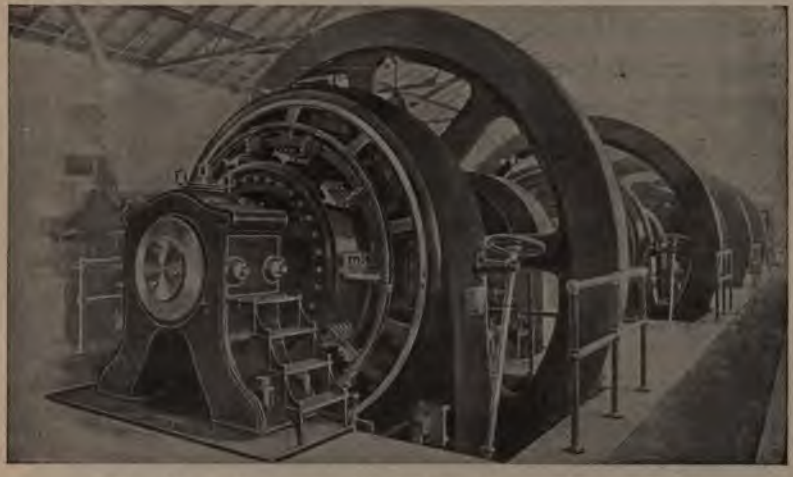


Fig. 166. — Dynamo multipolaire avec accouplement direct.

tions rapides et fréquentes du débit. Dans certaines stations, on emploie même des *dynamos hypercompoundées*, qui donnent une tension constante non au départ de l'usine, mais à l'extrémité des feeders.

Il est indispensable d'asseoir les dynamos sur une bonne fondation en maçonnerie, pour leur permettre de résister aux efforts brusques qu'elles ont à subir.

On a reconnu que les balais en charbon détérioraient beau-

coup moins le collecteur que les balais en métal. Ils sont actuellement d'un usage à peu près général.

Pour le choix de la puissance des dynamos, on se rappellera que les grandes unités réduisent toujours les frais de main-d'œuvre et de surveillance. Elles offrent aussi l'avantage d'un excellent rendement.

Aujourd'hui on considère, comme d'un type courant, des dynamos de 1000 à 1500 kilowatts. Aux États-Unis on commence même à employer des unités de 3 à 4000 kilowatts.

b) *Moteurs.* — Les *moteurs hydrauliques* ne peuvent être adoptés que là où l'on dispose d'une chute d'eau importante, d'un débit sensiblement constant. Ils sont alors constitués par des *turbines* à axe vertical ou horizontal et sur l'arbre desquelles sont montées directement les dynamos.

Les *moteurs à vapeur*, de beaucoup les plus répandus, sont ou horizontaux ou verticaux. On paraît surtout vouloir employer aujourd'hui (quand la place ne fait pas défaut) des moteurs horizontaux, dont la surveillance est certainement plus facile que celle des moteurs verticaux.

En prenant des machines à allure lente on se donnera l'avantage de pouvoir supprimer les transmissions par courroies.

Un fort volant est de rigueur. Il suffit, pour en comprendre l'utilité, de se reporter à ce que nous avons dit précédemment sur les variations de la consommation. Dans un même ordre d'idées, il est indispensable que le régulateur règle très rapidement la consommation de la vapeur.

Généralement les machines sont à un seul cylindre. Mais lorsque l'on a à alimenter un grand réseau et que, par suite, les variations de la consommation se trouvent sensiblement atténuées, on adoptera des machines à double et à triple expansion, qui produisent une meilleure utilisation de la vapeur.

On peut en outre, avec ces machines, employer des tensions de vapeur plus élevées (10 à 12 kg au lieu de 6 à 7 kg).

On sait que, dans les machines à vapeur usuelles, il se produit, dans le cylindre, des entraînements d'eau qui diminuent le rendement et peuvent provoquer parfois des accidents.

Aussi a-t-on combiné une nouvelle catégorie de machines qui emploient de la *vapeur surchauffée*. Celle-ci, avant son introduction dans le cylindre, est portée à la température d'environ 300 degrés et débarrassée ainsi de l'eau entraînée.

Mais il faut, concurremment, employer des huiles pouvant supporter une telle température.

Dans les machines à vapeur surchauffées on a généralement substitué, pour la distribution de la vapeur, la soupape au tiroir.

Quel que soit le système adopté, il est clair que l'on devra s'arranger de manière à condenser la vapeur. Il faudra donc placer l'usine en un point où l'eau se trouvera en abondance, à proximité. Mais il est bon de pouvoir marcher également à échappement libre.

Le graissage à l'huile est maintenant de plus en plus répandu. Dans les grandes stations centrales une véritable distribution d'huile est même organisée. Un réservoir est

placé près des toits et communique par des tuyaux avec les différents organes à lubrifier. Puis l'huile se rend dans un réservoir inférieur, d'où une pompe l'élève jusqu'à un filtre situé au-dessus du réservoir de départ.

Dans certaines installations (Orléans, Lausanne), au lieu de machines à vapeur, on a eu recours à des *moteurs à gaz pauvre*. C'est une nouvelle classe de machines des plus intéressantes; elles permettent de produire le cheval-heure avec seulement 500 gr d'anthracite, au lieu de 700 gr de charbon qu'il faut, au minimum, avec une machine à vapeur. Mais les constructeurs capables de livrer de bons moteurs à gaz pauvre, ne sont pas encore très nombreux.

c) *Chaudières.* — Le type des chaudières en usage dans les usines pour tramways électriques est assez variable.

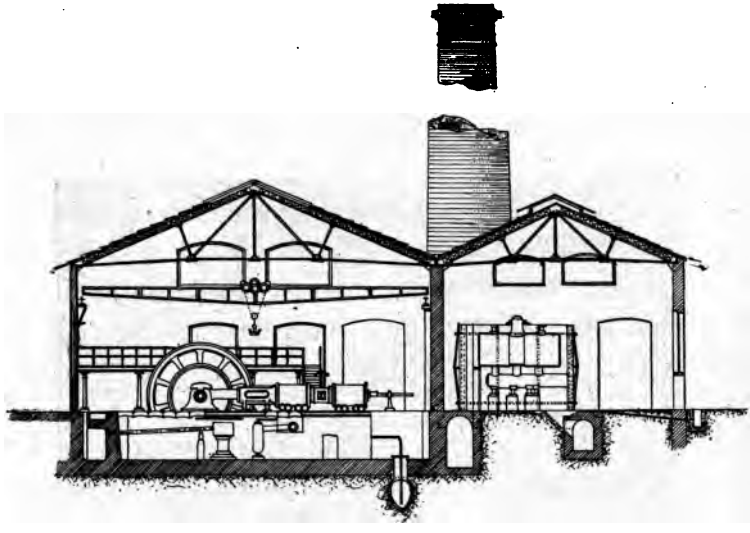
En France, surtout quand la place ne fait pas défaut, on emploie des *chaudières à bouilleurs*, ou mieux des *chaudières semi-tubulaires*.

En Angleterre on adopte, de préférence, des *chaudières à foyer intérieur*, qui offrent certains avantages au point de vue de l'entretien.

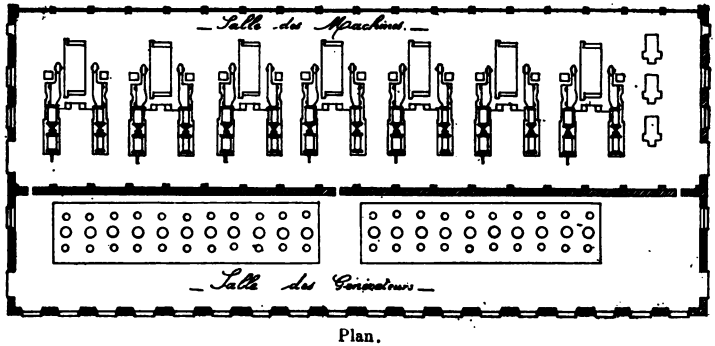
Les Américains penchent plutôt pour les *chaudières tubulaires;* mais ces chaudières sont d'un entretien dispendieux et elles sont d'une conduite moins facile que les types précédemment indiqués. En revanche elles permettent de réaliser, sur un petit espace, une grande puissance de vaporisation.

Cette considération a son importance, étant données les grandes unités que l'on emploie aujourd'hui dans les usines.

La disposition classique d'une usine est en effet de monter



Coupe transversale.



Plan.

Fig. 167. — Disposition générale d'une grande usine.

les chaudières sur une rangée parallèle aux machines (fig. 167). Mais, comme les plus gros spécimens de chau-

dière ne dépassent pas 4 à 500 chevaux, on est conduit pour une machine de 4 000 chevaux, par exemple, à installer 8 chaudières de 500 chevaux.

Aussi est-on souvent obligé, dans ce cas, de superposer les chaudières et de les monter en étage. Mais si l'on agit ainsi,

Fig. 168. — Chargeur automatique.

ce n'est pas par commodité de service, c'est parce que l'on ne peut pas faire autrement.

Dans une grande usine pour tramways on brûle facilement de 100 à 200 tonnes de charbon par jour. L'apport du charbon, sa manutention, l'enlèvement des cendres doivent être simplifiés autant que possible.

Il faut d'abord que le charbon puisse arriver directement à l'usine, soit par rails, soit par eau.

Il sera ensuite élevé dans les soutes, non à bras, mais par des transbordeurs continus.

Ces soutes seront placées au-dessus des chaudières, de telle façon que le charbon puisse descendre jusque devant les foyers par son propre poids. Il y est conduit par de gros tuyaux qui le déversent dans des *chargeurs automatiques*, lesquels le poussent peu à peu et progressivement sur les grilles (fig. 168).

Parmi ces chargeurs automatiques nous citerons spécialement l'*american Stoker* (fig. 169), très employé en Amérique et en Angleterre, et dont l'élément est une vis sans fin que fait tourner un petit moteur. Concurremment on insuffle de l'air, sur les côtés de la grille, à l'aide d'un ventilateur électrique. Non seulement on réalise ainsi une économie notable de combustible, mais on réduit sensiblement la main-d'œuvre, ce qui est toujours à apprécier dans une usine.

Sous les foyers règne une galerie continue. Les cendres s'y déversent et sont transportées par des wagonnets jusqu'à un monte-charge qui les amène au niveau du sol.

Il est inutile d'ajouter qu'à proximité d'une grande usine il faut avoir de la bonne eau en abondance. Les *épurateurs* ne sont qu'un palliatif; il vaut beaucoup mieux s'arranger pour ne pas en avoir besoin.

L'emploi d'*économiseurs* se généralise de plus en plus. Ces appareils se composent le plus souvent de tubes léchés par les fumées et dans lesquels on fait circuler l'eau d'alimentation, avant de l'envoyer dans les chaudières. Un système

Fig. 169. — American Stoker.

de raclettes mécaniques enlève la suie qui se dépose sur les tubes et qui formerait rapidement une couche mauvaise

conductrice de la chaleur[1]. On peut ainsi gagner de 80 à 100°.

d) *Tableau de distribution.* — Le tableau de distribution réunit les appareils servant à la manœuvre des dynamos, à la mesure du courant et à son envoi dans la ligne.

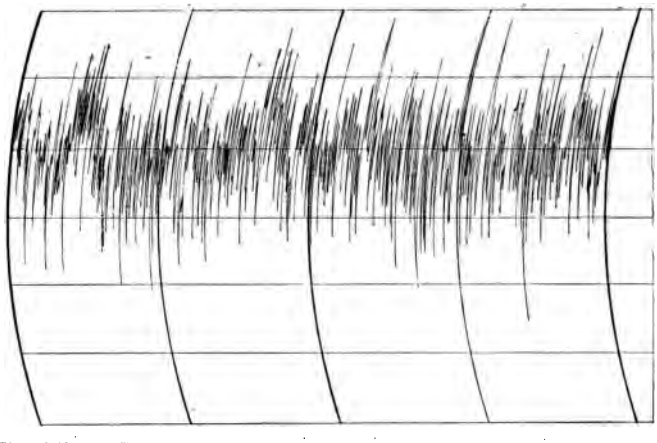


Fig. 170. — Courbe de débit d'une usine alimentant un petit réseau.

Les éléments principaux sont :

1° Un rhéostat de champ magnétique pour le réglage de l'excitation ;

2° Un interrupteur à main permettant de lancer le courant dans la ligne, quand la machine est au voltage voulu ;

3° Un interrupteur automatique coupant le courant quand il se produit un court-circuit sur la ligne et empêchant ainsi les dynamos de débiter un courant exagéré ;

[1] Dans certains économiseurs on se contente d'enlever la suie, de temps en temps, à l'aide de lances à vapeur.

4° Un voltmètre et un ampèremètre ;

5° Une parafoudre qui protège l'usine pour le cas où le tonnerre viendrait à tomber sur les conducteurs aériens.

Dans un grand nombre de stations centrales il est également d'usage d'employer des appareils enregistreurs (wattmètres ou ampèremètres) qui montrent clairement toutes

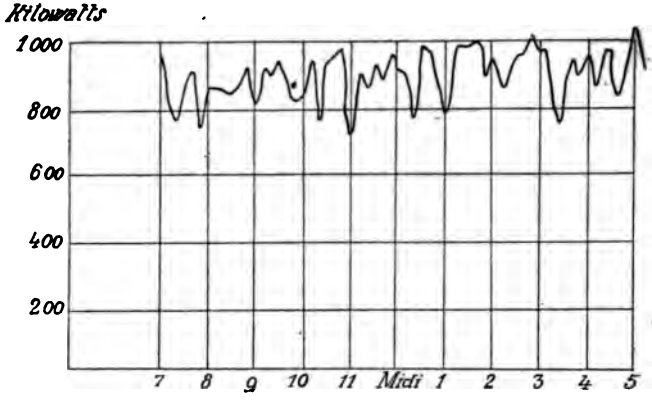


Fig. 171. — Courbe de débit d'une usine alimentant un grand réseau.

les variations de la consommation. Moins la ligne est chargée et plus la courbe est dentelée. La figure 170 représente une courbe relevée sur le wattmètre, dans une usine n'alimentant qu'une seule ligne, avec une dizaine de voitures en service seulement. Sur un réseau comportant 140 voitures automotrices et 40 voitures remorquées on a obtenu, au contraire, la courbe représentée par la figure 171.

Emploi des accumulateurs dans les stations centrales. — Les accumulateurs rendent de grands services dans les usines

alimentant des réseaux d'éclairage, en fonctionnant comme volant et comme réserve.

L'idée devait venir, naturellement, de les employer également dans les stations centrales alimentant des réseaux de tramways.

On doit cependant remarquer que, dans l'un et l'autre cas, les conditions d'utilisation ne sont pas tout à fait comparables. Une usine servant à l'éclairage doit fournir du courant sans interruption. On dispose donc d'une grande marge pour la charge et décharge des accumulateurs, et ceux-ci pourront toujours être conduits avec une allure modérée.

Dans une usine pour tramways on est un peu plus gêné, puisque celle-ci est arrêtée pendant une partie de la nuit et que, d'autre part, pendant les heures de service, il est évidemment économique de demander tout le gros de la force aux machines[1].

Les accumulateurs doivent donc, dans ce cas, agir surtout comme volant, en corrigeant les inégalités de charge, pour ainsi dire instantanées, auxquelles sont soumises les machines. Leur coefficient d'utilisation sera donc moindre que pour un réseau d'éclairage. Cependant, ils peuvent rendre encore de sérieux services, surtout si la courbe de consom-

[1] Indépendamment de la station centrale de Fontainebleau, dont nous allons parler plus loin, nous citerons comme usine utilisant avantageusement une batterie d'accumulateurs, celle de Remscheid (Allemagne). Douze voitures seulement sont en service sur la ligne, et, bien qu'elles consomment à certains moments jusqu'à 630 ampères, on peut les alimenter avec une seule dynamo de 180 ampères. Le complément est fourni par la batterie.

On a également installé une batterie d'accumulateurs sur les petites lignes du Raincy à Monfermeil et d'Enghien à Montmorency.

mation affecte une allure analogue à celle que représente la figure 170. On conçoit, en effet, qu'avec un tel régime, au lieu d'une puissance d'installation de 120 à 150 kilowatts, qui serait strictement nécessaire pour franchir les pointes de la courbe, on pourra se contenter de 60 kilowatts, correspondant à la troisième horizontale, en partant du bas de la figure. Tout ce qui est au-dessus sera fourni par une batterie d'accumulateurs. Au-dessous, les petites vallées dessinées par la courbe correspondent à du travail disponible. On l'utilisera pour charger les accumulateurs. De cette façon, on aura réduit de 50 p. 100 la puissance d'installation et on fera travailler les machines dans des conditions voisines de la pleine charge.

La batterie d'accumulateurs se place ordinairement en dérivation sur le réseau. Comme sa force électromotrice peut varier dans de grandes limites, ainsi que nous l'avons expliqué dans le chapitre VI, il faut prendre des précautions pour que le courant qu'elle débite soit maintenu à la tension constante du réseau.

On peut obtenir ce résultat à l'aide d'appareils automatiques qui insèrent un plus ou moins grand nombre de bacs sur la ligne.

A Fontainebleau, on a adopté la disposition suivante, combinée par M. Pirani (fig. 172).

Sur le circuit des accumulateurs CD est intercalée une dynamo F dont les inducteurs portent deux enroulements d'effet opposé. L'un EF est pris en dérivation sur les accumulateurs ; l'autre GH est traversé par la totalité du courant envoyé dans la ligne. Ces deux enroulements sont

combinés de telle façon que, lorsque les machines travaillent à pleine charge, la force électromotrice de la dynamo auxiliaire F, ajoutée à la tension de distribution, fasse équilibre à la force électromotrice des accumulateurs.

Donc, à ce moment, la batterie ne débite ni ne reçoit aucun courant.

Si un certain travail devient disponible, le courant diminue

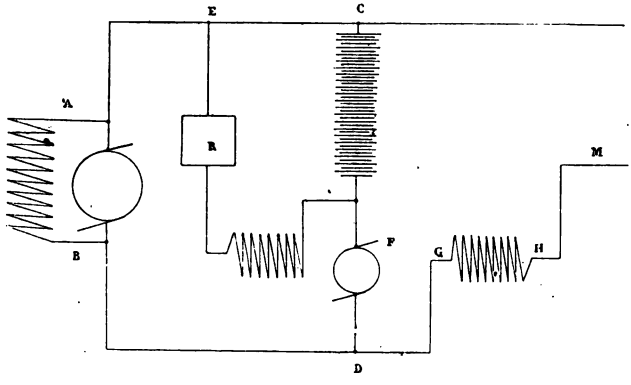


Fig. 172. — Emploi des accumulateurs dans les stations centrales.

dans GH. L'enroulement EF prédomine et la dynamo auxiliaire ajoute sa force électromotrice à celle des dynamos de l'usine pour charger les accumulateurs. Inversement, si la demande de courant dépasse le débit des machines, l'enroulement GH change le sens de la force électromotrice de la dynamo auxiliaire et la fait contribuer, ainsi que la batterie, à charger le réseau. Le rhéostat R sert, une fois pour toutes, pour le réglage.

Il existe certaines usines où l'on alimente à la fois un

réseau de tramways et un réseau d'éclairage. Pour celles-ci l'emploi d'accumulateurs se justifie tout à fait. On peut même dire qu'il est indispensable, car, pour que la lumière soit bien stable, on doit éviter dans la canalisation des variations, même de 2 à 3 volts [1].

Feeders à basse tension. — Nous avons déjà indiqué (chapitre I) que ces feeders pouvaient être constitués par des

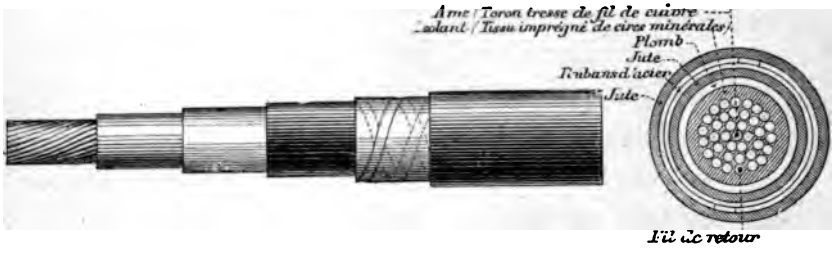


Fig. 173. — Type de câble armé (câble Siemens).

conducteurs nus ou par des câbles armés et isolés (fig. 173).

Les conducteurs nus sont de beaucoup préférables, parce qu'ils sont plus économiques et qu'on peut leur faire supporter de très fortes surcharges, par exemple 5 à 6 ampères par millimètre carré de cuivre.

Au contraire, avec les câbles armés et isolés, il est prudent de ne pas dépasser 1 à 2 ampères par millimètre carré.

Les feeders nus se placent sur des isolateurs fixés à des poteaux en bois ou en métal. Si le feeder est de faible section on le constituera avantageusement par un fil de trolley

[1] Sur un réseau de tramways il peut se produire facilement des écarts de voltage de 50 à 60 volts.

que l'on supportera par les poteaux mêmes de la ligne.

Il y a une assez grande variété de câbles armés et isolés. Cependant leur constitution est généralement la suivante :

Une âme en fils de cuivre ;

Une couche isolante ;

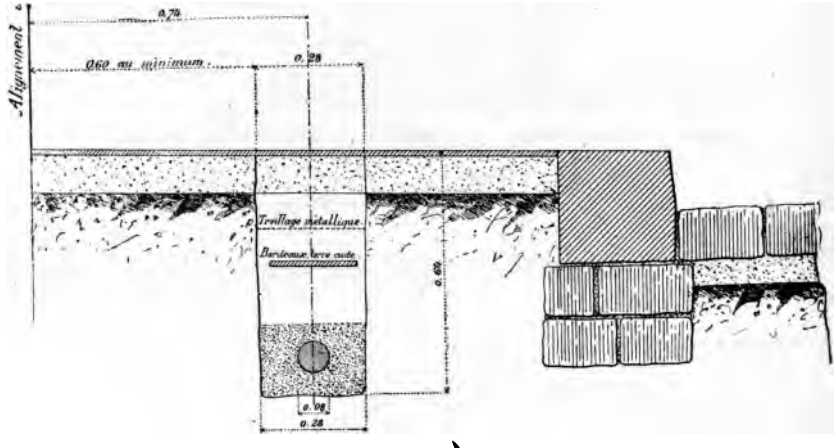


Fig. 174. — Pose d'un feeder sous les trottoirs.

Une enveloppe en plomb destinée à assurer l'étanchéité du câble ;

Une substance protégeant le plomb et formant matelas ;

Une enveloppe en ruban d'acier ;

Une protection superficielle en jute ou en chanvre goudronné.

Parmi les fils de cuivre formant l'âme du câble il est bon d'en isoler un, afin de pouvoir s'en servir comme fil pilote pour mesurer la tension à l'extrémité du feeder.

Les feeders en câbles armés et isolés se placent dans des

tranchées de 0,70 m à 0,80 m de profondeur et dont le fond reçoit une couche de sable de 20 à 25 cm d'épaisseur (fig. 174). Cette couche de sable a pour but de mettre le câble en contact avec des matériaux perméables et ne pouvant occasionner aucune attaque chimique des enveloppes.

La tranchée sera ensuite pilonnée avec soin et, à quelques

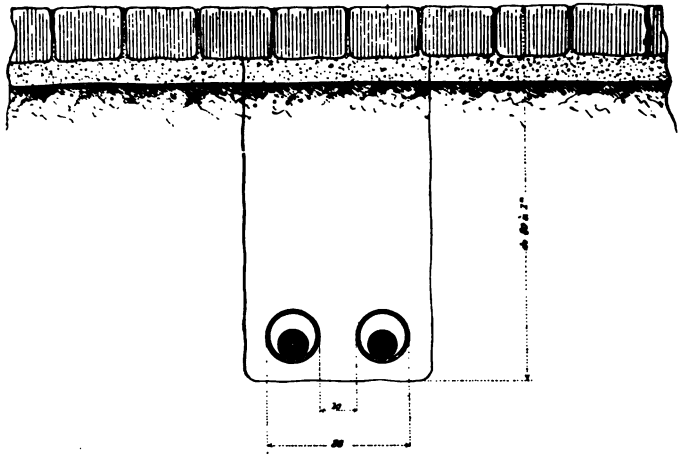


Fig. 175. — Traversée des rues.

centimètres au-dessous du sol, on étalera un grillage métallique qui servira ultérieurement comme indicateur de la présence du câble. Quelquefois on signale encore le feeder par des bardeaux en terre cuite.

A la traversée des rues on impose généralement de loger les câbles dans des tuyaux en fonte. Cette disposition (fig. 175) permettrait, au besoin, de retirer les câbles, en cas de réparation, sans démolir la chaussée.

Les feeders sont livrés sur bobines et il faut raccorder entre eux les différents tronçons qui les composent.

On emploie à cet effet des *boîtes de jonction* en fonte,

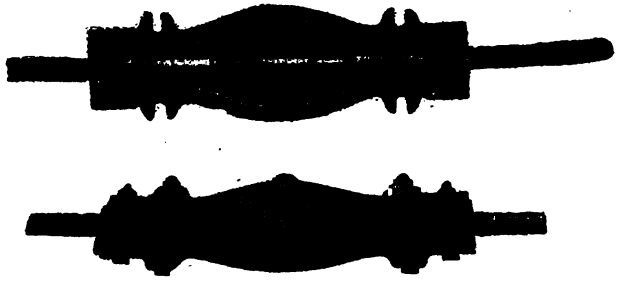


Fig. 176. — Boîte de jonction pour feeder.

ayant la forme de deux coquilles que l'on peut boulonner l'une sur l'autre, suivant un joint horizontal (fig. 176).

Les deux câbles à jonctionner sont dénudés suivant leurs couches successives et en laissant entre le cuivre et le plomb

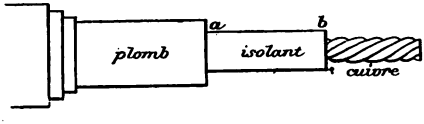


Fig. 177. — Extrémité d'un câble à jonctionner avec un autre.

une couche isolante *ab* suffisamment longue, car il ne faut pas oublier que le plomb est à la terre (fig. 177). On réunit ces deux extrémités par des pinces en laiton et après avoir refermé la boîte on y verse, par un ajutage, de la matière isolante.

Cette opération doit être faite au sec et avec soin. L'eau est l'ennemie des câbles armés et isolés.

Dans le même ordre d'idées on ne devra jamais approvisionner de câbles armés sur les chantiers sans les avoir capotés à leurs extrémités.

Les *feeders de retour* qui n'ont à supporter que des tensions très faibles, peuvent être beaucoup moins bien isolés. On en a fait souvent avec des câbles en cuivre noyés dans du bitume.

Stations centrales pour transport de force. — Nous avons vu que les transports de force s'effectuaient par des courants à haute tension.

Là où il est fait usage de courant continu, le courant est produit directement par les dynamos génératrices qui doivent être, dans ce cas, supérieurement isolées.

Au contraire, dans le cas de courants alternatifs on peut ne demander aux alternateurs que du courant à basse tension et augmenter celle-ci, avant envoi dans la ligne, par des *transformateurs statiques.*

Mais l'expérience a prouvé que l'on pouvait très commodément produire directement, avec des alternateurs, des tensions de 5 à 10 000 volts. Or les villes ne sont pas tellement étendues, qu'en plaçant la station centrale même à une bonne distance de leur limite, on ne puisse se contenter, pour les transports de force, de telles tensions. Ainsi s'est généralisé l'emploi d'alternateurs de 5 à 10 000 volts (fig. 178 et 179), au lieu d'alternateurs à basse tension,

avec surélévation de celle-ci dans des transformateurs[1].

L'avantage évident est que l'on évite ainsi la perte d'environ 4 à 5 p. 100 que feraient subir les transformateurs.

Ces transformateurs s'imposeraient, au contraire, s'il

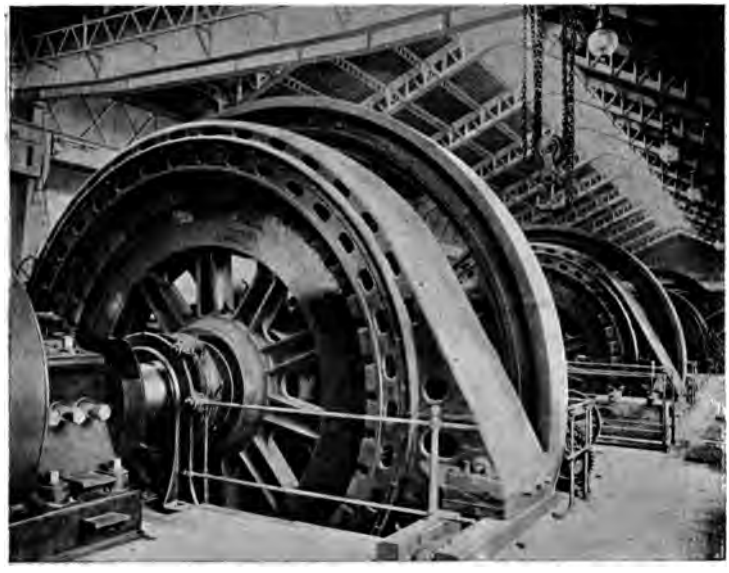


Fig. 178. — Alternateur triphasé à 5 000 volts, à accouplement direct.

fallait aller chercher le courant à très grande distance et recourir, pour cette raison, à des tensions de 30 à 40 000 volts.

Les considérations émises plus haut relativement aux

[1] Dans ces alternateurs, on a très heureusement limité les hautes tensions aux parties fixes. A cet effet on a rendu l'induit immobile. L'inducteur, que l'on excite généralement par un courant continu à 100 ou 110 volts, constitue la seule partie tournante.

machines et chaudières s'appliquent à une usine où l'électricité est produite par des alternateurs.

Nous ajouterons que, pour que ces alternateurs puissent se coupler en quantité, il est nécessaire que la vitesse des

Fig. 179. — Grande usine avec alternateurs triphasés à 5 000 volts.

machines soit bien régulière. De très forts volants sont alors indispensables. Remarquons d'ailleurs que cette régularité doit s'appliquer non seulement à la constance du nombre de tours par minute, mais aussi et surtout à la constance du mouvement angulaire de la machine, pendant un tour.

Le *courant alternatif monophasé* est peu employé parce que les canalisations qu'il comporte nécessitent un grand poids

de cuivre et que d'autre part il se prête mal à la production de la force motrice.

Avec les *courants triphasés* ces deux inconvénients sont supprimés.

Aussi les grandes usines modernes emploient-elles, presque toutes, des *alternateurs triphasés*.

Les principes indiqués plus haut, pour une usine à cou-

Fig. 180. — Boite de jonction pour câbles triphasés.

rants continus, s'appliquent à une station centrale pour courants triphasés.

Autrefois on envisageait avec une certaine crainte le *couplage des alternateurs* en quantité. Mais c'est maintenant chose courante et les constructeurs acceptent de donner, à ce sujet, toutes garanties.

Feeders à haute tension. — Le courant à haute tension, à sa sortie de l'usine, passe soit dans des câbles nus, montés sur poteaux, soit, ce qui est le plus fréquent pour un réseau de

tramways, dans des câbles armés et isolés placés dans le sol.

On peut, avec une ligne aérienne, transporter du courant à des tensions atteignant 20, 30 et même 40 000 volts.

Boîte complète.

Vue en plan, avec couvercle enlevé.

Fig. 181. — Boîte de coupure pour câbles triphasés.

Au contraire, avec les câbles armés et isolés on ne dépasse pas généralement 10 000 volts.

Les câbles armés, pour feeders à haute tension, sont analo-

gues à ceux qui ont été décrits précédemment pour la basse tension. Mais naturellement la couche isolante a une plus grande épaisseur.

En outre, pour éviter dans le cas des courants alternatifs

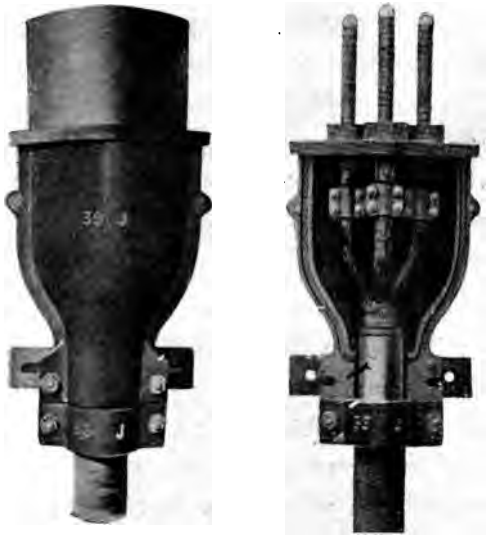


Fig. 182. — Capot d'extrémité pour câbles triphasés.

les effets d'induction sur l'armature, on prendra soit des câbles concentriques (cas du courant alternatif simple), soit des câbles à trois torons (cas du courant triphasé).

Nous ne reviendrons pas sur ce que nous avons dit de la pose des câbles et des boîtes de jonction (fig. 180).

Indiquons seulement la nécessité de placer en de certains points des *boîtes de coupure* (fig. 181) qui permettent de localiser les défauts. Dans ces boîtes, la jonction des câbles est

assurée par des interrupteurs à main formant en même temps coupe-circuit.

Au départ et à l'arrivée les câbles sont terminés par des *capots d'extrémité* (fig. 182). Ce sont des boîtes où les torons des câbles sont mis à nu afin d'être jonctionnés avec les câbles allant au tableau, soit de l'usine, soit de la sous-station.

Sous-stations de transformation. — Nous nous bornerons à examiner les transformations déjà indiquées dans le chapitre premier.

a) *Transformation du courant continu à haute tension en courant continu à 500 volts.* — Les distributions de ce genre ne sont pas très répandues, surtout parce qu'elles ne peuvent avoir l'ampleur d'une distribution par courants polyphasés. Avec des machines à courant continu, en effet, on n'atteint que très difficilement des puissances de 1000 à 1500 kilowatts, alors que des alternateurs de 2 et 3 000 kilowatts sont de fabrication courante.

En outre les canalisations sont plus coûteuses qu'avec des courants polyphasés.

Deux procédés de transformation sont en usage :

Ou bien l'on emploie une dynamo réceptrice, alimentée directement par le courant à haute tension et actionnant une dynamo génératrice à 500 volts ;

Ou bien on monte en série un certain nombre de dynamos réceptrices, par exemple quatre pour un courant à 2 000 volts,

chacune d'elles n'absorbant alors que 500 volts. Dans ce cas, réceptrices et génératrices sont identiques, alors qu'avec le premier système il faut des réceptrices spéciales, supérieurement isolées.

b) *Transformation du courant alternatif à haute tension en courant continu à 500 volts.* — Ce système est employé à Rome, où l'on alimente un réseau de tramways avec du courant alternatif produit à la tension de 4 300 volts par l'usine de Tivoli (à 25 kilomètres de la sous-station).

La transformation se fait dans ce cas par un appareil que l'on appelle *convertisseur*, ou encore *commutatrice*, et dont le principe est le suivant :

Considérons une dynamo à *courant continu*, par exemple une dynamo bi-polaire. On sait que le courant qu'elle produit n'est continu que par l'intervention du *collecteur*. Chaque bobine de l'induit engendre au contraire un *courant alternatif simple*. Si donc on relie à deux bagues montées sur l'arbre, deux points diamétralement opposés de l'induit on recueillera du courant alternatif.

On peut imaginer une dynamo munie, d'un côté, des deux bagues en question et, de l'autre, d'un collecteur. Cette machine donnera simultanément du courant continu et du courant alternatif.

Et si, en utilisant le principe de la *reversibilité*, on envoie du courant alternatif par les bagues, la dynamo fonctionnera comme moteur et donnera, au collecteur, du courant continu.

Cependant, une difficulté se présente. C'est que le moteur à courant alternatif ainsi constitué ne peut démarrer de lui-même. Il faut, par un artifice, le faire démarrer et amener sa vitesse à un point tel que le courant alternatif qu'il produirait concorde exactement avec celui qu'il doit recevoir. A ce moment on n'aura qu'à fermer les interrupteurs et l'appareil continuera à fonctionner.

A Rome, pour mettre le convertisseur en route on envoie, par le collecteur, du courant continu emprunté à une batterie-tampon. Le convertisseur se comporte, à ce moment, comme un moteur à courant continu et démarre vivement. Lorsqu'il est à la vitesse du synchronisme, on coupe le courant continu et l'on branche l'appareil sur le courant alternatif.

Il y a dans un convertisseur une relation entre la tension du courant alternatif et celle du courant continu. La tension maxima du courant alternatif est celle du courant continu et, d'après ce que nous avons dit au chapitre premier, la tension efficace s'obtiendra en multipliant la tension du courant continu par 0,707. Autrement dit, si la transformation doit donner du courant à 500 volts, le courant alternatif ne devra avoir qu'une tension de $500 \times 0{,}707 = 353$ volts.

Donc, avant d'envoyer du courant à haute tension dans un convertisseur, il faut abaisser sa tension jusqu'à 353 volts. On obtiendra ce résultat en le faisant passer dans des *transformateurs statiques*.

c) *Transformation des courants polyphasés à haute tension en courant continu à 500 volts.* — L'élément transformateur

le plus employé est, comme dans le cas précédent, la *commutatrice*.

Seulement le rapport des tensions est différent. Pour nous en tenir, par exemple, au cas le plus fréquent des courants triphasés nous remarquerons que, pour obtenir dans une

Fig. 183. — Sous-station avec transformateurs ventilés.

dynamo à courant continu, des courants triphasés, il suffit de relier à trois bagues trois points situés sur l'induit, aux extrémités d'un même triangle équilatéral. Dans ce cas, il est facile de voir que la tension maxima du courant triphasé est égale à la tension du courant continu multipliée par $\sin 120°$, soit $\frac{\sqrt{3}}{2}$; d'où l'on déduit que la tension efficace du courant triphasé est égale à la tension du courant continu multipliée par 0,612.

Donc, pour obtenir du courant continu à 500 volts, il faudra recevoir du courant triphasé à 306 volts.

Le courant triphasé à haute tension devra, par suite, avant son envoi dans la commutatrice, passer dans des *transforma-*

Fig. 184. — Grand transformateur à bain d'huile de la Cie Westinghouse.

teurs statiques. Ces transformateurs sont très souvent ventilés, afin de combattre, par un afflux d'air froid, l'élévation de température que produit le passage du courant. On les monte alors au-dessus d'un canal dans lequel souffle un ventilateur. Ce canal et ce ventilateur sont parfaitement

visibles sur le côté droit de la figure 183 qui représente une sous-station de la Cie Thomson-Houston.

La Cie Westinghouse emploie au contraire (fig. 184) un transformateur à bain d'huile, pour lequel la ventilation n'est pas nécessaire.

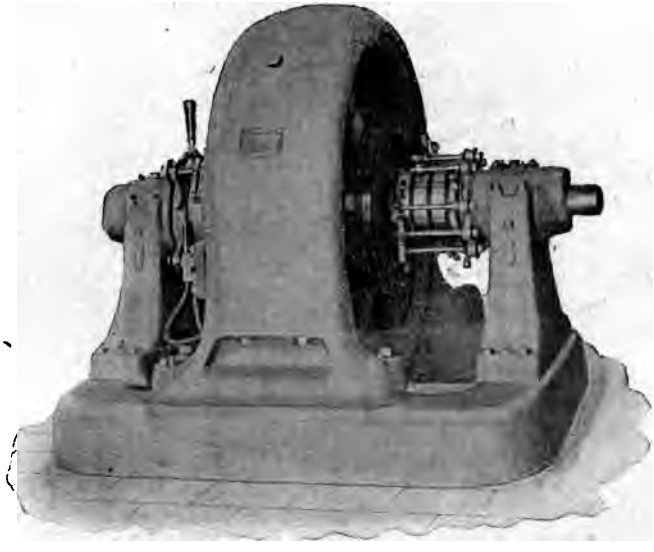


Fig. 185. — Commutatrice Thomson-Houston, avec démarrage par courant continu.

On peut faire démarrer une commutatrice pour courants polyphasés :

Soit en envoyant du courant continu dans le collecteur (fig. 185).

Soit en montant sur l'arbre de l'appareil un petit moteur à courants polyphasés — moteur qui démarre seul en vertu

des propriétés bien connues des moteurs à champ tournant (fig. 186 et 187).

Soit en ayant recours au courant polyphasé lui-même. Mais

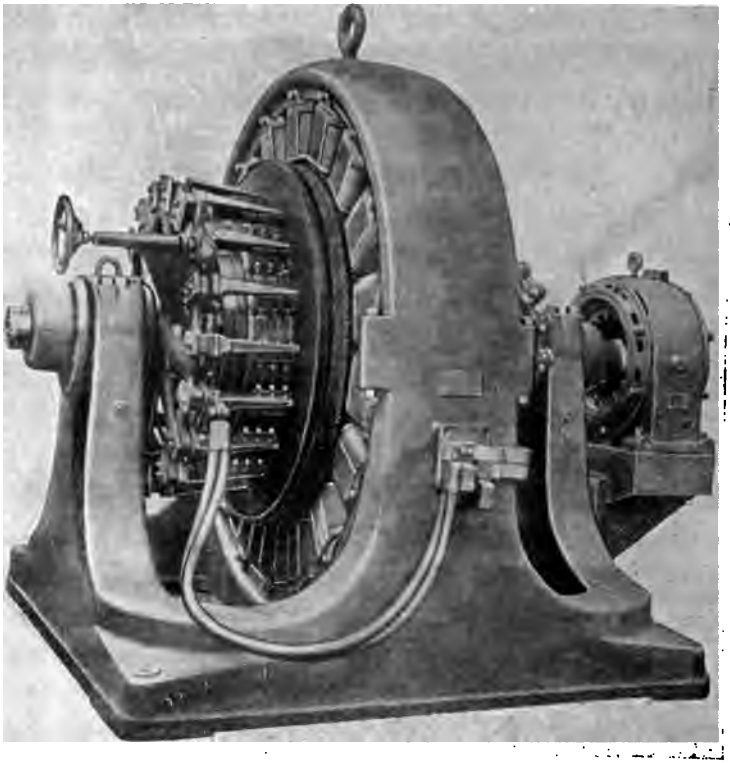


Fig. 186. — Commutatrice Westinghouse, avec démarrage par moteur spécial.

certaines précautions sont à prendre pour diminuer à ce moment le décalage, c'est-à-dire le cos φ qui intervient pour diminuer la puissance utilisable.

On peut, pour une transformation de courants polyphasés,

remplacer la commutatrice par un *transformateur tournant*.

Cet appareil n'est autre qu'un moteur polyphasé à haute tension (démarrant sous charge) actionnant une dynamo à courant continu montée sur le même arbre. C'est donc un ensemble de deux appareils distincts, alors que, dans une commutatrice, ceux-ci sont réunis en un seul.

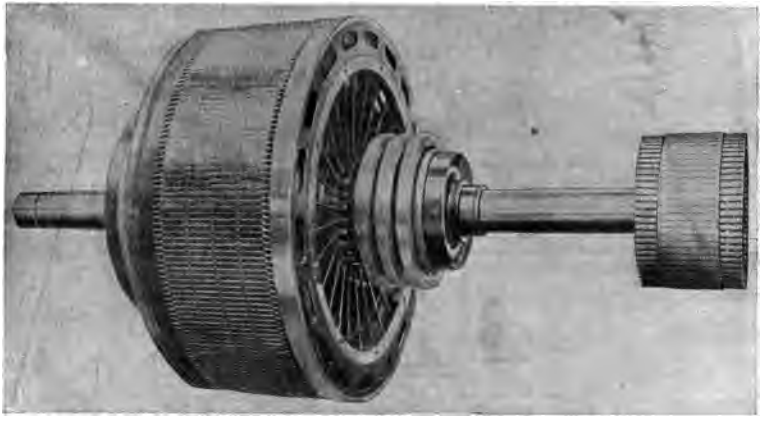


Fig. 187. — Mode de montage de l'induit du moteur sur l'arbre de la commutatrice.

Mais la commutatrice exige des transformateurs statiques, alors qu'avec les transformateurs tournants on peut utiliser directement le courant à haute tension.

Néanmoins, la commutatrice est un appareil tellement simple, tellement robuste qu'on la préfère presque toujours au transformateur tournant[1].

[1] Il est à remarquer qu'une commutatrice, étant réversible, donnera du courant triphasé aux bagues, si on lui amène, par son collecteur, du courant continu. Il y a, dans cette propriété, le principe d'un transport de force

Nous représentons (fig. 188) le schéma des dispositions intérieures d'une sous-station de transformation. La com-

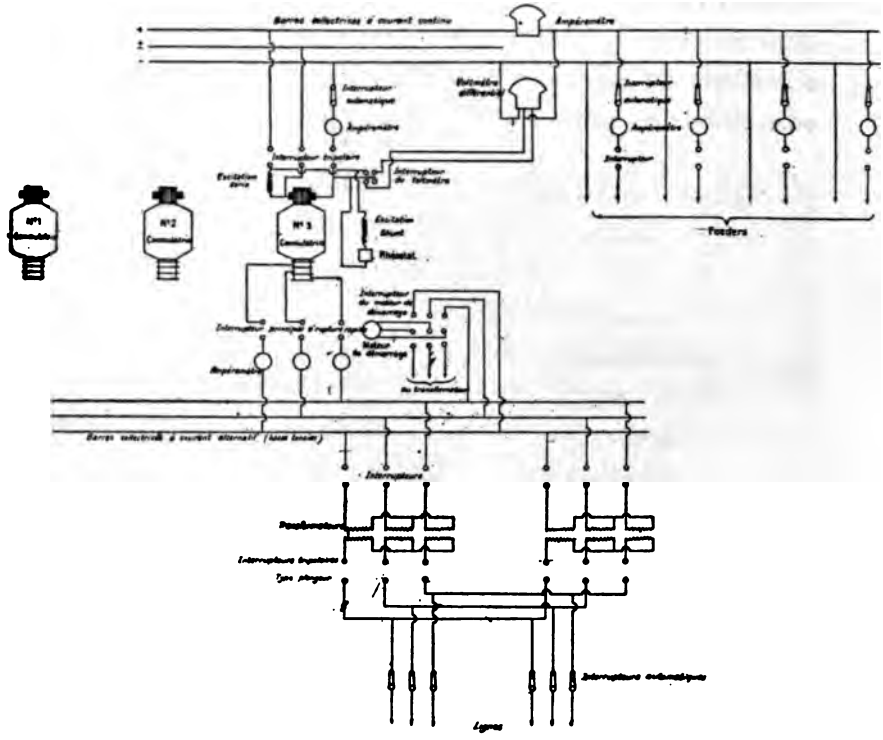


Fig. 188. — Disposition des circuits dans une sous-station.

mutatrice est supposée munie d'un moteur de démarrage.

qui peut être facilement appliqué, quand l'usine génératrice est une usine à courants continus à 500 volts. Le courant à transporter passera dans une commutatrice, d'où il sortira sous forme de courant triphasé à basse tension. Par des transformateurs statiques on portera cette tension à 5 ou 10 000 volts et l'on se retrouvera dans le cas général d'un transport de force par courants triphasés.

La manœuvre consiste d'abord à faire démarrer la machine, puis, lorsqu'elle est en synchronisme avec le courant triphasé (ce que l'on constate à l'aide d'un indicateur de phase), à lancer dans les bagues le courant triphasé. Cet « accrochage » nécessite une certaine habitude ; mais il ne présente pas, à proprement parler, de difficulté.

d) *Transformation des courants polyphasés à haute tension en courants polyphasés à basse tension.* — Une distribution de ce genre se fait à Lugano (Suisse). Le courant triphasé à haute tension (5 000 volts) est produit dans une usine hydraulique située à Marrogia, à 12 km de la ville. La ligne, qui est aérienne, est constituée par 3 fils de cuivre de 5 mm de diamètre que soutiennent, par des isolateurs, des poteaux en bois espacés d'environ 25 m. La station de transformation est la simplicité même. Elle se réduit à un transformateur pour courant triphasé, système Brown, qui réduit la tension à 400 volts. Sur les trois fils de départ l'un va aux rails. La tension de 400 volts doit s'entendre, ainsi qu'il a été expliqué au chapitre premier, entre le fil de terre et chacun des deux autres. Entre chaque fil et le centre des trois phases elle n'est que de 231 volts.

Avec ce système, un poste de transformation peut être laissé sans surveillance.

Les commutatrices exigent, au contraire, la présence à peu près permanente d'un ouvrier.

CHAPITRE X

EXPLOITATION

Conditions générales des exploitations. — Terminus. — Vitesse commerciale. — Horaires. — Perceptions. — Bureaux d'attente et de correspondance.

Conditions générales des exploitations. — Un des objectifs principaux, pour une exploitation de tramways, c'est d'être économique. Les charges nombreuses qui pèsent sur les concessions imposent à l'exploitant de veiller attentivement sur toutes les sources de dépenses et de s'ingénier, par des combinaisons d'horaires ou des sectionnements de lignes appropriés, à augmenter le trafic.

Le tramway doit solliciter le voyageur et l'inciter à avoir recours à lui, même pour des courses de peu de durée. Aussi doit-on chercher, avant tout, à diminuer les pertes de temps dans les stationnements et à réaliser une vitesse commerciale élevée.

La régularité du service, le rapprochement des horaires exercent également sur l'accroissement du trafic une influence prépondérante. Enfin, il faut que le public soit sûr de trouver de la place à chaque instant, afin qu'il n'ait pas la tentation

de partir à pied, plutôt que d'attendre une nouvelle voiture.

Dans ces conditions, un tramway verra généralement son trafic s'accroître avec le temps; les maisons se bâtiront sur son parcours et il créera, pour les déplacements de la population, une vraie ligne de circulation, dont il sera le premier à bénéficier.

Au point de vue économique d'autres considérations doivent intervenir. C'est ainsi que l'exploitant cherchera à obtenir la meilleure utilisation possible du personnel itinérant et du matériel, résultat qui sera généralement atteint en faisant parcourir aux voitures, par jour, le plus grand nombre de kilomètres possible.

Terminus. — On doit recommander, pour les terminus, la disposition en boucle qui permet aux voitures, moyennant un parcours d'une cinquantaine de mètres, d'être convenablement placées pour le retour.

Si la voie était terminée en cul-de-sac, les manœuvres à effectuer seraient, au contraire, plus compliquées, sans compter que les voitures devraient être munies de deux contrôleurs. Or il n'est pas indifférent pour un chef de dépôt qui a dans ses attributions, par exemple, le service de 100 voitures, d'avoir à entretenir 200 contrôleurs au lieu de 100.

Lorsque la disposition des lieux ne permet pas d'établir un terminus en boucle on cherche à réaliser ce que l'on appelle un *triangle américain*[1]. Ce système a l'inconvénient de néces-

[1] Nous ne parlons pas de la plaque tournante parce que, en raison de sa lenteur, elle doit être proscrite de toute exploitation de tramway.

siter des aiguillages et d'imposer aux voitures une allure plus lente.

Dans les exploitations américaines à grande intensité on pousse si loin la préoccupation de gagner du temps dans les terminus, que l'on a installé sur les voitures des appareils mécaniques, pour changer le sens des écriteaux indiquant les directions suivies par le tramway.

Le choix du terminus a, sur le rendement d'une ligne de tramway, une influence considérable. Ce terminus doit principalement tendre à inciter aux petits parcours. Il ne faut, en effet, jamais oublier que le tramway est fait surtout pour les petits trajets, les courses à longue distance étant plus spécialement du domaine des chemins de fer et des métropolitains.

Dans les grandes villes le centre ne sera pas toujours un excellent terminus. Des lignes transversales sont préférables, même si l'une de leurs extrémités sort dans la banlieue. De cette façon, on pourra compter à la fois sur un trafic urbain et sur un trafic suburbain.

Vitesse commerciale. — Supposons une voiture marchant à une vitesse commerciale — c'est-à-dire arrêts compris — de 8 kilomètres à l'heure. En 10 heures, c'est-à-dire pendant la durée ordinaire de travail des conducteurs et des receveurs, elle fera 80 kilomètres.

Si, pendant le même temps, on peut lui faire parcourir 120 km., ce qui correspond à une vitesse de 12 km. par heure, la capacité de transport se trouvera augmentée de

50 p. 100. Les dépenses seront loin de croître dans la même proportion, puisqu'elles se réduiront surtout à celles de courant électrique et de graissage, ce qui constitue à peine le quart de la dépense totale.

On réalisera donc ainsi une exploitation beaucoup plus économique, et comme, d'autre part, on aura, avec un même matériel, rapproché les départs, on aura finalement offert au public des commodités plus grandes, ce qui ajoutera encore au coefficient d'utilisation de la ligne.

Pour arriver à réaliser une vitesse commerciale élevée il convient :

1° D'avoir recours à des moteurs puissants, afin de pouvoir effectuer de bons démarrages. L'expérience prouve que l'on peut démarrer en dix à douze secondes, et, pour ce faire, il convient de ne pas s'attarder trop sur les touches du contrôleur.

Il faut arriver le plus vite possible à la marche en parallèle, situation qui correspond d'ailleurs au meilleur rendement des moteurs.

2° De freiner avec la plus grande rapidité, sans toutefois aller évidemment jusqu'à soumettre les voyageurs à des contre-coups désagréables [1].

Un freinage en cinq à six secondes est très admissible. On obtient ce résultat par l'emploi de freins énergiques, et en particulier, par l'emploi de l'air comprimé. Avec ce système

[1] Rappelons que, pour freiner énergiquement, il faut serrer les freins à peu près à bloc (et non à bloc) en permettant toujours aux roues de tourner. Avec un serrage à bloc la voiture glisserait sur les rails, d'où une action retardatrice moindre. En outre, il se produirait des plats sur les roues.

on peut freiner simultanément la voiture automotrice et la voiture de remorque, s'il en existe.

Les freins magnétiques commencent également à être employés; mais ils ne présentent pas tous la simplicité de fonctionnement des freins à air comprimé, qui ont fait leurs preuves non seulement sur les tramways, mais aussi sur les chemins de fer.

3° De conduire les voitures à peu près à la façon d'un automobile, c'est-à-dire de profiter des moindres éclaircies qui se produisent à travers les voitures circulant sur la chaussée pour aller de l'avant, sauf à démarrer de nouveau, si l'on se trouve tout à coup arrêté. En d'autres termes, il faut effectuer, autant que possible, une marche par *bonds successifs*.

Il est clair qu'un tel régime est très dur pour les moteurs et pour le matériel. Mais il faut les prévoir en conséquence. On ne peut pas faire de bonne traction électrique avec un matériel incapable de supporter de très forts à-coups.

4° D'éviter toute perte de temps dans les arrêts et d'habituer le public à descendre et à monter avec rapidité.

A ce sujet, il convient d'étudier, d'une façon spéciale, les entrées et les sorties des voitures, en organisant, de préférence, une entrée distincte et une sortie distincte aux extrémités.

L'emploi de l'impériale est une cause considérable de retards.

De même l'emploi de voitures de remorque ne peut qu'alourdir la vitesse commerciale, attendu que la perte de

temps est plus grande dans les arrêts et que, d'autre part, le signal du départ ne peut être donné que lorsque les conducteurs des deux voitures ont eu le temps de « s'accorder ». Mais il ne faudrait pas en conclure que la voiture de remorque doive être toujours proscrite des exploitations. Si elle n'est pas à sa place quand le trafic est intense et présente un caractère nettement urbain, elle pourra, en revanche, rendre de très grands services lorsqu'il s'agira d'une ligne prenant un trafic principal à ses extrémités et ayant à écouler, à certains moments de la journée, de forts débits.

Une voiture de tramway devrait faire, par jour, une moyenne de 150 à 180 km.

Dans les villes où, par suite du peu de circulation, le service des voitures cesse le soir, de bonne heure, un kilométrage aussi élevé ne peut pas toujours être atteint.

Un facteur qui intervient évidemment, dans une large mesure, est la vitesse maxima que permettent les règlements. Généralement cette vitesse maxima figure dans le cahier des charges de la concession. Elle est souvent de 12 à 16 kilomètres dans les traverses et de 20 km. hors traverses.

Horaires. — Il est difficile, pour la fixation des horaires, de donner une règle générale. On peut dire, cependant, qu'il y a avantage à rapprocher les horaires, un principe étant que le trafic crée le trafic.

Sur certaines lignes centrales à grand débit on pourra rapprocher les horaires jusqu'à quinze secondes alors que,

dans les parties peu habitées, on pourra se contenter de départs toutes les vingt minutes.

Si l'on devait espacer davantage les départs, cela tendrait à prouver que la ligne n'est pas encore mûre pour une exploitation de tramways et aurait dû être plutôt traitée comme une ligne de chemin de fer d'intérêt local.

On ne peut évidemment pas, même quand on a affaire à un trafic particulièrement intense, rapprocher les voitures au delà d'une certaine limite. Sans cela on gênerait beaucoup trop la circulation des voitures à chevaux ou autres empruntant la chaussée. Les Américains sont, à ce point de vue, plus tolérants que nous, et dans Broadway, par exemple, à New-York, ils acceptent fort bien que les voitures de tramways soient à 60 ou 80 m. les unes des autres. C'est là ce que l'on appelle l'exploitation en « chapelet ». Evidemment celle-ci a de grands avantages, la capacité de transport étant alors extrêmement élevée.

Lorsque plusieurs lignes importantes ont un tronc commun, la circulation en chapelet devient difficile, car on arrive forcément sur le tronc commun à des encombrements.

En tout état de cause il ne faut pas craindre d'avoir des horaires un peu serrés, l'expérience démontrant que, dans ces conditions, le trafic s'améliore généralement assez rapidement.

Ces horaires rapprochés, de même que l'exploitation en chapelet, sont particulièrement commodes à réaliser avec la traction électrique.

Les tramways s'arrêtent généralement en cours de route

à la demande des voyageurs. Mais on conçoit qu'un tel système doive conduire à un alourdissement de la vitesse commerciale.

A Paris, l'administration prescrit maintenant des arrêts fixes. Ceux-ci sont signalés par des écriteaux que l'on accroche aux candélabres. Ce système est assez bien accepté par la population, car les arrêts sont suffisamment rapprochés ; quelques-uns de ces arrêts sont seulement facultatifs, c'est-à-dire que le conducteur n'arrête qu'autant qu'un voyageur demande à descendre ou qu'un autre, désirant prendre le tramway, lui fait signe de s'arrêter.

Il est souvent difficile de réaliser un horaire déterminé, lorsque le tramway est *à voie unique avec garages.* La moindre irrégularité dans le service a pour conséquence une augmentation de la durée des stationnements et le tramway ne marche plus qu'à une allure moyenne très lente. Un tramway électrique ne devrait jamais être à simple voie. Et cela est à recommander même pour une ligne peu productive car, dans ce cas, on ne s'en tire généralement qu'en marchant à grande allure, de manière à faire parcourir à une même voiture, beaucoup de kilomètres dans la journée.

Perceptions. — Il est bon, évidemment, que la perception des recettes soit soumise à un contrôle sévère ; mais il ne faut pas exagérer la surveillance, car le personnel employé à cet effet finirait par coûter sensiblement plus que le supplément de recettes qui serait ainsi perçu. Il y a intérêt,

d'autre part, à ne pas ennuyer le public par un contrôle trop répété.

L'expérience prouve que l'on obtient les meilleurs résultats en organisant un contrôle secret, c'est-à-dire en confiant ce service à des personnes inconnues des receveurs et qui, de temps en temps, effectuent inopinément des parcours dans les voitures.

Le plus souvent la perception se fait moyennant délivrance, par le receveur, d'un ticket numéroté, détaché d'un carnet à souche. La différence entre le dernier numéro du soir et le premier numéro du matin donne immédiatement le nombre de tickets délivrés et, par suite, la somme perçue par le receveur. Sur certains réseaux on vend à l'avance des carnets de tickets. Cette mesure, qui donne d'excellents résultats, mériterait d'être généralisée.

L'inconvénient des tickets est qu'avec un receveur négligent la perception se fait souvent d'une façon incomplète. Aussi beaucoup de compagnies obligent-elles les receveurs à « sonner » les voyageurs, au fur et à mesure qu'ils montent dans la voiture. Il est fait usage, à cet effet, de cadrans à sonnerie. Ces appareils donnent généralement de bons résultats ; mais ils sont d'un entretien assez dispendieux. Ils ne sont pas d'ailleurs très pratiques pour des lignes où les tarifs varient par sections assez rapprochées.

L'étude des voitures doit être faite non seulement en vue d'assurer un écoulement rapide des voyageurs, mais aussi dans le but de faciliter la perception des recettes et le contrôle.

Si le receveur ne peut rapidement circuler à travers les voyageurs la fraude sera inévitable.

Dans un ordre d'idées analogue il faut se méfier des surcharges exagérées, bien qu'elles soient tentantes, à première vue, et que les moteurs électriques puissent parfaitement les supporter. D'abord elles sont désagréables pour les voyageurs. Ensuite elles gênent les perceptions.

Les tarifs varient selon les localités. En Amérique on paye généralement 0,25 fr. par place et il n'y a qu'une classe. A Paris les tramways exploitant d'anciennes concessions font payer 0,30 fr. en première classe et 0,15 fr. en seconde classe. Sur les nouveaux réseaux on ne paye plus que 0,15 fr. et 0,10 fr. Ces prix sont réellement bien bas. Ils ne peuvent être rémunérateurs que sur les lignes où il se fait un échange fréquent de voyageurs.

Bureaux d'attente et de correspondance. — Il faut réduire les bureaux d'attente et de correspondance au strict minimum.

Ils ne sont pas nécessaires si le matériel roulant est suffisamment abondant et l'horaire assez serré. On économise ainsi les dépenses d'établissement des bureaux, les salaires des surveillants qui y seraient installés ainsi que les droits de location qu'imposent généralement les municipalités pour l'occupation, par ces bureaux, du sol des rues.

La *correspondance*, c'est-à-dire le droit pour un voyageur de monter dans une seconde voiture affectée au service

d'une autre ligne, à l'appel de son numéro d'ordre, est une complication excessive.

Mais la correspondance sans numéro d'ordre, en laissant au voyageur le soin de monter dans la deuxième voiture dès qu'elle se présente et si elle contient de la place, peut avoir de bons résultats, en augmentant les petits parcours.

Par exemple, sur un tramway à 0,15 fr, on donnera la correspondance pour 0,05 fr, et, dans ce cas, il est probable que le voyageur profitera de la correspondance pour faire 2 à 300 mètres, alors que s'il devait de nouveau payer 0,15 fr. il préférerait vraisemblablement effectuer ce parcours supplémentaire à pied.

Il est bon de relier les bureaux tête de ligne et même quelques points de la ligne convenablement choisis, par téléphone avec le dépôt, et l'usine génératrice de courant.

Pour simplifier l'installation des circuits on a parfois adopté une ligne unique pouvant actionner à la fois tous les appareils (appel général) ou tel appareil isolément (système Dardeau).

CHAPITRE XI

DÉPENSES

Dépenses de premier établissement : (*a*) Tramways à conducteurs aériens; (*b*) Tramways à conducteurs souterrains; (*c*) Tramways à contacts superficiels; (*d*) Voitures; (*e*) Dépôts; (*f*) Usines et sous-stations. — Dépenses d'exploitation — Coefficient d'exploitation. — Comparaison avec les autres systèmes de traction.

Dépenses de premier établissement. — a) *Tramways à conducteurs aériens.* — Nous considérerons d'abord la *voie* proprement dite comprenant rails, terrassement, fondations, pavage, etc., puis l'*équipement électrique* dans lequel rentrent les poteaux, les fils aériens, les connexions électriques, etc.

Le prix de la voie varie beaucoup suivant le poids des rails, suivant que l'on exige ou non une fondation en béton, suivant que l'on impose une fourniture de pavés neufs ou que l'on réemploie les matériaux existants, etc.

Les prix ci-après sont seulement donnés à titre d'indication. Ils se rapportent à la voie normale (largeur entre rails 1,44 m).

	Prix du km de voie simple.
Voie Vignole sur accotement de route, avec rails de 20 kg y compris ballast et traverses	22 000 fr.

	Prix du km de voie simple.
Voie Vignole sur accotement de route, avec rails de 25 kg y compris ballast et traverses.	25 000 fr.
Voie Broca avec rails de 36 kg directement posés sur le sable dans une chaussée pavée avec réemploi de matériaux et fournitures de boutisses pour découper les joints.	35 000 —
La même avec pavage neuf dans l'entre-rails et sur 0,50 m à droite et à gauche	60 000 —
Voie Broca avec rails de 44 kg reposant sur une fondation en béton, y compris un pavage neuf dans l'entre-rails et sur 0.50 m à droite et à gauche. .	85 000 —[1]
Voie Marsillon avec rails de 41 kg reposant sur une fondation en béton, y compris un pavage neuf dans l'entre-rails et sur 0,50 m à droite et à gauche.	96 000 —[2]

Le prix de la *voie double* se calcule en doublant les chiffres précédents.

Quant aux aiguillages, croisements, courbes, etc... on en tiendra compte en majorant les prix unitaires de 10 à 15 p. 100.

Dans le prix de l'*équipement électrique*, un élément très variable est constitué par les poteaux. On n'accepte pas généralement en Europe de poteaux en bois. Ceux qui sont le plus souvent employés sont des poteaux tubulaires en fer ou acier. Un poteau métallique convenable coûte environ 300 fr mis en place. On obtiendra le prix du km de ligne (voie simple) en ajoutant à la dépense de poteaux, calculée à raison de 50 poteaux par km, une somme de 4 000 fr pour le

[1] Prix de Paris.

[2] Prix de Paris.

matériel électrique (conducteurs, isolateurs, haubans, connexions des rails) et pour la pose.

Pour une voie double, la dépense relative aux poteaux et aux haubans tendeurs reste la même. Il faut seulement ajouter les connexions électriques de la seconde voie, le deuxième fil aérien et ses isolateurs. C'est une somme d'environ 3 000 francs.

Quand la ligne est supportée par des poteaux consoles, il ne faut plus, pour une simple voie, que 25 poteaux par kilomètre (à 350 fr pièce). Le reste de l'équipement peut être évalué à 4 000 fr par km. Ce qui donne une dépense de 13 000 fr, en chiffre rond par km.

Avec une double voie on peut, si la disposition des lieux le permet et surtout en employant le trolley Dickinson, monter les deux lignes aériennes sur une même console. Dans ce cas la dépense se calculera à raison de 25 poteaux, à 375 fr, plus deux équipements à 4 000 fr, soit, au total, une somme de 17 500 fr en chiffre rond.

Si les poteaux doivent être placés sur la chaussée il sera alors tout indiqué d'adopter une double console en installant le poteau correspondant sur un refuge. La dépense se calculera (sans celle des refuges) à raison de 400 fr par poteau plus deux équipements à 4 000 fr, soit en tout 18 000 fr.

On arrive ainsi aux prix suivants, qui ne sont donnés, comme ceux de la voie proprement dite, qu'à titre d'indication et pour les cas particulièrement envisagés :

PRIX DE L'ÉQUIPEMENT ÉLECTRIQUE D'UNE LIGNE A CONDUCTEURS AÉRIENS PAR KM

Voie simple avec poteaux métalliques.	19 000 fr.
Voie double — —	22 000 —
Voie simple avec poteaux à simple console. . . .	13 000 —
Voie double — —	17 500 —
Voie double avec poteaux à double console (sur refuge, mais sans les refuges)	18 000 —

Ces évaluations sont faites pour la voie courante. En admettant que les sujétions particulières (aiguillages, courbes, imprévus) conduisent à un supplément de dépenses de 10 p. 100, les prix ci-dessus deviendraient respectivement, en arrondissant, 21 000 fr, 24 000 fr, 14 500 fr, 19 500 fr, 16 500 fr et 20 000 fr.

Enfin, on doit compter en plus la dépense propre à l'établissement des feeders. Celle-ci est éminemment variable, puisqu'il y a des lignes qui n'en comportent pas. En outre, comme on l'a vu précédemment, les feeders peuvent être ou aériens ou souterrains. Au Havre la dépense de feeders a atteint 5 000 fr par km[1]. Sur des réseaux très chargés, elle s'élèverait rapidement à 10 000 et même 15 000 fr par km.

b) *Tramways à conducteurs souterrains.* — Peu de chiffres précis ont été publiés jusqu'ici.

Aux Etats-Unis on considère qu'une ligne de tramways à conducteurs souterrains et caniveau axial coûte, par mille de voie simple, environ 50 000 dollars, ce qui met le km à

[1] Renseignements fournis par la Société Thomson Houston

155 000 fr. En supposant que la voie proprement dite coûte 74 000 fr[1], le caniveau avec ses conducteurs reviendrait ainsi à 81 000 fr, soit 97 000 fr en ajoutant 20 p. 100 pour les courbes, les aiguillages et les imprévus.

A Budapest, le caniveau construit par la maison Siemens a coûté, en plus de la voie, environ 50 000 fr par km de voie simple. Le même système appliqué à Berlin, dans les conditions indiquées au chapitre IV, a comporté, sans les aiguillages, une dépense de 60 000 fr. Enfin la Compagnie nouvelle d'électricité évalue le km de voie courante du caniveau installé rue de Châteaudun, à 75 000 fr. En ajoutant, comme nous l'avons fait pour le caniveau américain, 20 p. 100 pour les courbes, les aiguillages et les imprévus, on arriverait, pour ce dernier caniveau, au chiffre de 90 000 fr.

Le nouveau caniveau latéral employé à Bruxelles et à Paris revient à environ 80 000 fr par kilomètre de voie courante, soit 96 000 fr avec les 20 p. 100 habituels. Pour plus de sécurité on adoptera un chiffre rond de 100 000 fr.

Nous avons décrit, chapitre IV, le caniveau en acier que construit la Société des Usines de Hœrde. Ce caniveau est évalué par elle à 42 000 fr par km de voie simple, pour la fourniture seulement. En ajoutant 10 000 fr pour la pose et 20 p. 100 pour les courbes, aiguillages et imprévus, on atteindrait 62 000 fr.

Tous ces prix s'appliquent à la voie simple. On devra les doubler pour la voie double. Les feeders sont à compter en plus.

[1] Ce prix est celui que donne M. Fairchild dans son ouvrage *Street Railways*.

Il nous reste enfin à examiner le prix de revient d'une galerie visitable. Celle de la Société d'Études françaises et étrangères est évaluée, sans la voie, mais y compris les travaux spéciaux de chaussée, à 200 000 fr par km, soit 240 000 fr en ajoutant 20 p. 100 comme dans les évaluations précédentes. Ce chiffre se rapproche sensiblement de celui du double caniveau. Mais si, en raison de la profondeur de la galerie, on est obligé d'approfondir ou de dévier les égouts existant sous les voies de tramways, on arrivera à des dépenses beaucoup plus élevées. C'est ainsi que pour la ligne de la place Cadet à la porte de Montmartre on avait prévu en réfections d'égout, déplacements de conduites d'eau ou de gaz, etc., une somme dépassant 100 000 fr par km.

Il convient de remarquer que, dans les rues larges et à grande circulation, les égouts ne sont généralement pas placés sous les voies de tramways [1]. Dans ces conditions, la dépense afférente à l'établissement de la galerie proprement dite n'aurait rien d'excessif, surtout si, comme nous l'avons indiqué au chapitre IV, on se contentait d'une galerie à section réduite.

Avec une ligne à simple voie l'emploi d'une galerie serait moins avantageux, puisque la dépense qu'elle comporte est sensiblement la même, qu'il s'agisse d'une ligne à simple ou double voie.

c) *Tramways à contacts superficiels*. — Ces tramways sont plus économiques que les tramways à conducteurs souter-

[1] Ils se trouvent alors sous les trottoirs, un de chaque côté de la rue.

rains, mais ils comportent souvent des dépenses accessoires très élevées (drainage des plots, des câbles, des branchements, isolement des traversées, etc...).

A Paris le système Diatto est revenu, sans les feeders ni la voie, à environ 60 000 fr par kilomètre de voie simple (drainages non compris).

Les constructeurs du système Claret et Vuilleumier annoncent un prix de 50 000 fr par kilomètre.

Enfin le système Westinghouse reviendrait à 60 000 fr par kilomètre.

Il faut ajouter à ces dépenses celles qui concernent l'installation des frotteurs sous les voitures ainsi que des petites batteries d'accumulateurs qui excitent les électro-aimants La dépense correspondante est de 1 500 à 2 000 fr par voiture.

d) *Voitures.* — Une voiture de 50 places à 2 moteurs de 30 à 35 chevaux coûte de 20 à 25 000 fr ; pour les voitures de 40 places ce prix s'abaisse à 15 000 fr.

Ce ne sont là que des prix approximatifs, car il peut exister d'assez grands écarts suivant l'ameublement des voitures, leur décoration, etc.

Dans les prix qui viennent d'être donnés l'équipement électrique rentre pour environ 8 000 fr ; le freinage spécial pour 1 500 à 2 000 fr.

Pour calculer la dépense de matériel à faire sur une ligne d'une longueur donnée, il faut évaluer le nombre de voitures qu'il est nécessaire de mettre en service par kilomètre. Ce

nombre dépend de la vitesse moyenne et de l'intervalle des départs.

Le tableau suivant permet de trouver instantanément, pour chaque cas, le nombre des voitures sur une ligne de 10 km :

DÉPART toutes les	VITESSE MOYENNE EN KM PAR HEURE									
	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30
1 minute.	100	86	75	67	60	50	40	30	24	20
2 —	50	44	38	33	30	25	20	15	12	10
3 —	33	29	25	22	20	17	13	10	8	7
4 —	25	22	19	17	15	13	10	8	6	5
5 —	20	17	15	13	12	10	8	6	5	4
6 —	17	14	13	11	10	8	7	5	4	3
7 —	14	12	11	10	9	7	6	4	3	3
8 —	13	11	9	8	8	6	5	4	3	3
10 —	10	9	8	7	6	5	4	3	2	2
15 —	7	6	5	4	4	3	3	2	2	1
20 —	5	4	4	3	3	3	2	2	1	1

Pour une voie double, il faut doubler les chiffres du tableau.

Dans le cas de la *traction par accumulateurs*, une voiture de 50 places, à impériale couverte, avec sa batterie, coûte environ 30 000 fr. La batterie de rechange (quand il en est fait usage) revient à 5 000 fr.

e) *Dépôt.* — Un dépôt peut être établi à raison de 50 à 60 fr par mètre carré de surface couverte. Mais cette dépense ne comprend que les bâtiments. Pour l'aménagement intérieur, les fosses de visite, l'outillage et le mobilier il faut compter sur un supplément à peu près égal.

f) *Usines et sous-stations.* — Nous avons montré comment on pouvait calculer la puissance en *kilowatts* de l'usine, soit en déterminant la puissance réellement nécessaire pour la traction des voitures, soit en partant du nombre de voitures en service sur le réseau.

Rapportée au kilowatt, la dépense de premier établissement d'une usine diminue, évidemment, au fur et à mesure que la puissance augmente. Comme limites extrêmes (unités de 80 à 100 kilowatts et unités de 1 000 kilowatts et au-dessus), on peut adopter les évaluations ci-après :

DÉPENSES PAR KILOWATT

Moteurs et chaudières de	300 fr. à	200 fr.
Matériel électrique	350 —	250 —
Maçonneries et bâtiment.	250 —	150 —
Total de.	900 fr. à	600 fr.

Une sous-station de transformation coûte de 250 à 300 fr. par kilowatt installé, sans les bâtiments.

Quant aux feeders reliant les usines aux sous-stations il est impossible de rapporter la dépense qu'ils nécessitent au kilowatt.

L'estimation est à faire dans chaque cas particulier.

Dépenses d'exploitation. — Les dépenses d'exploitation peuvent varier beaucoup, selon la façon dont l'exploitation est conduite et selon les prix des matières premières et de la main-d'œuvre dans la région où le réseau considéré est situé.

Parmi les matières premières, la plus importante est le charbon servant à la production de l'énergie électrique.

Dans ces dernières années on a vu son prix varier du simple au double. Cependant, comme dans les dépenses *totales* d'exploitation il n'intervient que pour une part relativement faible, les variations de ses cours ne peuvent pas influer d'une façon radicale sur les résultats généraux de l'entreprise.

Les dépenses de personnel ont une influence autrement prépondérante.

Elles se sont très sensiblement accrues depuis peu et elles ont encore tendance à s'élever. C'est ainsi que, pour de nouvelles concessions, on a imposé à certaines compagnies :

1° De limiter la durée du travail à 10 heures par jour;

2° De fixer un salaire minimum de 150 fr. par mois;

3° D'assurer aux ouvriers, et ce, sans retenue de salaire, un jour de congé par semaine et dix jours de congé par an;

4° De continuer à payer le salaire pendant les périodes d'instruction militaire et quelquefois même pendant les maladies, quelles qu'en soient les origines ou la cause;

5° D'assurer un service médical et pharmaceutique gratuit;

6° De verser à la caisse des retraites 6 p. 100 des salaires;

7° D'assurer les ouvriers et les employés contre les accidents.

L'ensemble de ces charges représente au moins 25 à 30 p. 100 des salaires usuels.

Une source de dépenses assez variable doit être également signalée. Ce sont celles qui correspondent aux taxes perçues par les villes pour l'établissement des bureaux sur les

dépendances des rues et pour le stationnement des voitures aux terminus.

On s'explique encore les redevances relatives à l'établissement des bureaux ; mais le droit de stationnement est une taxe injuste et absurde. A Paris les compagnies doivent payer 0,30 fr. par chaque voiture partant des terminus. En sorte que, si l'on considère une ligne de 6 kilomètres sur laquelle les voitures effectuent 150 kilomètres par jour, la taxe journalière à payer est de 3,75 fr par voiture, soit 1368,75 fr par voiture et par an. Et encore supposons-nous, dans ce calcul, que le second terminus échappe à la taxe.

Un tramway électrique, avons-nous dit, doit éviter les stationnements ou plutôt il ne doit pas avoir de stationnements. L'imposition dont il est l'objet paraît donc absolument vexatoire.

D'autre part, on arrive à ce résultat, que plus une compagnie fait d'efforts pour augmenter sa vitesse commerciale et plus ses charges s'aggravent.

Nous développerons d'ailleurs ces diverses considérations au fur et à mesure de l'analyse à laquelle nous allons procéder des divers facteurs constituant les dépenses totales d'entretien.

En premier lieu, nous aurons en vue une exploitation exclusivement *à ligne aérienne*.

Dépenses par voiture-kilomètre. — 1° *Tramways à conducteurs aériens et trolley.* — On rapporte généralement les dépenses à la *voiture-kilomètre*.

Dans une exploitation, par exemple, où 100 voitures, faisant chacune 150 km par jour, sont en service, le nombre de voitures-kilomètre par jour est de 15 000, et, en divisant la dépense journalière moyenne par ce chiffre, on obtient la dépense par voiture-kilomètre.

Afin de pouvoir comparer commodément la traction électrique aux autres systèmes de traction, on a pris l'habitude de calculer à part les *dépenses de traction* proprement dites :

Dans ces dépenses rentrent :

a) La production du courant électrique y compris l'entretien de l'usine et, s'il y a lieu, des feeders et sous-stations de transformation;

b) L'entretien du matériel roulant et des dépôts;

c) L'entretien de la ligne aérienne pour la distribution du courant;

d) Le salaire du personnel de conduite (mais non celui de perception).

a) *Production du courant électrique.* — Le courant électrique peut être produit, sous forme de courant continu, de 550 à 600 volts dans une usine à vapeur d'importance moyenne, mais bien installée, pour, environ, 0,12 fr par kilowatt-heure, sur lesquels la dépense de combustible représente de 5 à 6 centimes. En ajoutant 10 p. 100 pour la perte en ligne, on arrive à 0,13 fr par kilowatt-heure aux bornes des moteurs.

S'il s'agit d'une grande usine à courants triphasés à haute

tension le prix du courant continu, aux bornes des moteurs, peut se calculer comme il suit :

Prix de revient au tableau de l'usine	0,070 fr.[1]
Pertes dans les lignes à haute tension (5 à 10 p. 100).	0,007 —
Transformation du courant triphasé en courant continu (80 p. 100)	0,019 —
Entretien de la sous-station de transformation et des feeders à haute tension	0,005 —
Perte en ligne (5 à 10 p. 100).	0,010 —
Total.	0,111 fr.

soit, en chiffre rond, 0,11 fr par kilowatt-heure.

Pour passer de là à la dépense de courant par voiture kilomètre il faut se rappeler qu'une voiture consomme environ, aux bornes des moteurs, 60 watts-heure par tonne-kilomètre.

Par conséquent la dépense de courant variera de 0,066 fr à 0,078 fr pour une voiture de 10 tonnes et de 0,99 fr à 0,117 fr pour une voiture de 15 tonnes[2]

Avec une usine hydraulique le prix serait moindre et

[1] Dans ce prix la dépense de charbon intervient pour environ 0,04 fr.

[2] Si l'on veut connaître quelle est la consommation, en charbon, de la voiture-kilomètre, on remarquera qu'avec un rendement de la distribution de 70 p. 100 la tonne kilomètre consomme, à l'usine, 60 w.-h $\frac{100}{70} = 85{,}7$ w.-h : soit 857 w.-h pour une voiture de 10 tonnes et 1,28 kwh pour une voiture de 15 tonnes. D'autre part, avec du charbon de qualité moyenne on brûle environ 1,8 kg par kwh. Donc on consommera 1,54 kg de charbon par voiture kilomètre de 10 tonnes et 2,31 kg par voiture-kilomètre de 15 tonnes.

Dans les petites installations on atteint facilement 2,5 kg. par voit. de 10 tonnes.

La manière dont les conducteurs manœuvrent les contrôleurs a une influence très sensible sur la consommation de charbon à l'usine. C'est ainsi qu'à Bordeaux le poids de charbon s'est abaissé de 2,785 kg à 2,200 kg, lorsque la Compagnie a fait placer des poteaux indiquant aux mécaniciens quand ils doivent interrompre le courant.

s'abaisserait facilement de 25 p. 100. Mais ce n'est que très exceptionnellement que l'on peut alimenter un tramway électrique par une usine hydraulique.

b) *Matériel roulant et dépôts.* — L'entretien du matériel roulant dépend évidemment de la qualité du matériel employé ; mais aussi et surtout de la façon dont les voitures sont conduites. C'est ainsi qu'un wattman qui démarera, avec ses freins encore serrés, risquera de griller son moteur. Des démarrages trop brusques peuvent également provoquer des coups de feu sur le collecteur.

Un moteur de bonne marque, quand il n'est pas trop surmené, nécessite, en somme, peu d'entretien. Il en est de même de l'équipement électrique. Les compresseurs d'air, quand on emploie le freinage par l'air comprimé, augmentent assez sensiblement les dépenses.

Quant aux roues, si elles sont de bonne qualité, elles peuvent parfaitement parcourir, avant d'être tournées, 50 000 kilomètres.

Dans la dépense d'entretien du matériel roulant rentrent habituellement, le lavage, le nettoyage, l'éclairage, le chauffage et le graissage des voitures.

Les dépenses d'entretien des dépôts sont, rapportées à la voiture-kilomètre, très peu élevées : à peine une fraction de centime.

Finalemement, pour l'entretien du matériel roulant et des dépôts, on peut compter, en moyenne, de 0,04 fr à 0,06 fr par voiture-kilomètre.

c) *Ligne aérienne.* — L'entretien de la ligne aérienne est une source de dépenses peu élevées. Cependant des précautions sont à prendre pour que le fil de trolley ne s'use pas trop vite. Il vaut mieux que ce soit la roulette, et il faut, de plus, éviter que les bords de cette roulette ne puissent entailler le fil.

On compte, en général, pour cet article, 0,002 fr par voiture-kilomètre, ce prix comprenant aussi l'entretien des feeders.

d) *Personnel de conduite.* — Les frais de personnel de conduite sont naturellement assez variables puisque, dans telle ville peu importante, on paiera un wattman de 3,50 fr. à 4,00 fr. par jour, et, dans telle autre, de 6 à 7 francs.

Il faut tenir compte en plus, des jours de congé, des charges spéciales imposées par les concessions et des frais de surveillance.

C'est à peine si l'on arrive à faire effectuer 100 km par wattman et par jour. Dans ces conditions, les frais de personnel de conduite, par voiture-kilomètre, varieront de 4, 5 à 8 cent.

Il résulte des différents chiffres qui viennent d'être établis que les frais de traction par voiture-kilomètre peuvent être évalués à :

1° *Pour une installation modeste, exploitée très économiquement* :

Courant électrique	0,080 fr.
Matériel roulant et dépôt	0,040 —
Ligne aérienne	0,002 —
Personnel de conduite	0,045 —
Total	0,167 fr. soit 0,17 fr.

2° *Pour une exploitation de grande ville :*

Courant électrique	0,100 fr.
Matériel roulant et dépôt	0,060 —
Ligne aérienne.	0,002 —
Personnel de conduite	0,080 —
Total.	0,242 fr. soit 0,25 fr.

Pour arriver au coût total de la voiture-kilomètre il faut ajouter :

Les dépenses d'entretien des voies ;

Les frais de perception ;

Les frais généraux.

e) *Dépenses d'entretien des voies.* — Ces dépenses comprennent non seulement l'entretien de la voie ferrée mais aussi l'entretien du pavage. En effet, les concessions mettent généralement à la charge des compagnies l'entretien du pavage pour l'entrevoie et les 2 zones de 50 cm situées à droite et à gauche.

Cet entretien pèse assez sur les petites exploitations où le nombre de voitures-kilomètre, par kilomètre de ligne, est naturellement assez faible.

Dans les grandes villes on parcourt, par kilomètre de ligne, plus de kilomètres ; mais, en raison de la circulation plus intense, les dépenses d'entretien sont plus élevées, en sorte que la dépense d'entretien du pavage, rapportée à la voiture-kilomètre, est sensiblement la même.

Si le type de rail est convenablement choisi, c'est-à-dire si l'on a adopté pour des exploitations très intensives un rail

très lourd et très résistant, on aura une proportionnalité semblable pour les dépenses d'entretien des voies.

La somme à compter pour l'entretien des voies peut être fixée à 0,003 fr. par voiture-kilomètre.

f) *Frais de perception.* — Rentrent dans cet article les salaires des receveurs, des contrôleurs, des inspecteurs et du personnel employé dans les bureaux de ligne et les stations. Il faut veiller à ce que le personnel des contrôleurs et des inspecteurs ne soit pas trop considérable. Nous renvoyons à ce sujet à ce qui a été dit plus haut, dans le chapitre x.

g) *Frais généraux.* — C'est là un article qui peut se gonfler beaucoup, si la compagnie n'est pas gérée selon les principes d'une stricte économie.

On doit y rattacher : les frais de direction et d'administration centrale, les assurances, le service médical et pharmaceutique, le service de la caisse des retraites, les impôts, les droits de stationnement, etc.....

Les assurances comprennent non seulement les assurances contre l'incendie, mais aussi et surtout les assurances du personnel contre les accidents du travail et les assurances de la compagnie contre les accidents occasionnés à des tiers, du fait de l'exploitation.

Les compagnies qui assurent le personnel contre les accidents du travail prennent généralement pour base le salaire touché par ce personnel. Elles demandent de 1 à 2 p. 100 du salaire.

Pour les accidents occasionnés à des tiers la base de la

redevance demandée est ordinairement la *recette brute* perçue sur les voyageurs. Mais les compagnies prévoient toujours une limitation de leurs risques par accident. Ainsi il sera spécifié que la compagnie ne pourra pas être recherchée pour plus de 50 000 francs par accident et plus de 10 000 francs par victime. L'assurance des tiers coûte facilement aux compagnies exploitantes : de 1 à 3 p. 100 de la recette brute.

Nous n'avons rien à dire de spécial du service médical et pharmaceutique. On pourra en réduire l'importance en intéressant le personnel à son bon fonctionnement, et en acceptant que les excédents disponibles soient versés, par exemple, à une caisse de prévoyance ou de secours.

Le service de la caisse des retraites est destiné à prendre une importance croissante. Déjà, à Paris, les compagnies doivent verser à la Caisse Nationale, 6 p. 100 des salaires des ouvriers.

Parmi les impôts il en est un qui pèse d'une façon très lourde sur les exploitations de tramways. C'est celui de la grande vitesse. Il s'élève aux 3/103es de la recette brute.

Quant aux droits de stationnement il est regrettable, comme nous l'avons dit plus haut, que les compagnies aient à les subir. On se fera une idée de leur importance par ce fait, qu'à Paris, ils représentent presqu'autant que l'impôt de la grande vitesse.

L'ensemble des frais généraux atteint finalement, selon les exploitations, de 4 à 10 et même parfois 12 centimes par voiture-kilomètre.

En rassemblant tous les frais d'exploitation et en consi-

dérant les deux cas envisagés plus haut on trouve, en dernière analyse :

Frais de traction	0,17 fr. à 0,25 fr.
Entretien des voies	0,03 — 0,03 —
Frais de perception	0,06 — 0,09 —
Frais généraux	0,04 — 0,10 —
Total	0,30 fr. à 0,47 fr.

Ces chiffres n'ont pas une rigueur mathématique ; ainsi dans telle ville où le charbon sera à bon marché et la main-d'œuvre à bon compte, on pourra faire descendre le prix de la voiture-kilomètre au-dessous de 0,30 fr. Au contraire s'il s'agit d'une compagnie ayant un état-major coûteux et ayant à subir des sujétions spéciales dues à l'emplacement de l'usine, à l'élévation du prix de la main d'œuvre, aux exigences de la municipalité pour les emplacements des bureaux et les stationnements, le prix pourra être un peu supérieur à 0,47 fr. Dans ce cas, pour que la compagnie puisse faire des affaires convenables, elle devra réaliser, par voiture-kilomètre, des recettes d'au moins 0,75 fr. à 0,80 fr.

Les prix qui viennent d'être calculés ne comprennent pas les frais d'amortissements du matériel. En admettant, comme le font certaines sociétés, que l'on doive amortir le matériel roulant en dix ou quinze ans et le matériel fixe en vingt ou trente ans on aura à compter, pour l'amortissement, sur une dépense de 0,10 fr. à 0,15 fr. par voiture-kilomètre. Pour les installations exécutées très économiquement on pourra ne compter que la moitié des chiffres ci-dessus.

2° *Tramways à conducteurs souterrains.* — Si le caniveau est bien établi et s'il peut, en particulier, résister aux poussées du pavage, les réparations sont peu importantes pour tout ce qui concerne la voie courante. Les dépenses proviennent surtout des aiguillages et des croisements.

D'après les statistiques américaines l'entretien du caniveau, par voiture-kilomètre, ne dépasserait pas 0,02 fr.

Cette somme est donc à ajouter aux prix établis plus haut pour la voiture-kilomètre, sans amortissement.

Pour cette dernière charge il faudra faire entrer en ligne de compte la dépense spéciale au caniveau, soit environ fr 200 000 par kilomètre de voie double.

3° *Tramways à contacts superficiels.* — La dépense supplémentaire à ajouter est de 0,02 fr à 0,04 fr par voiture-kilomètre. D'autre part, il y a une certaine majoration à compter (environ 0,01 fr.) pour l'entretien du matériel roulant. Cette majoration tient compte des dépenses effectuées pour entretenir les barres de contact ainsi que les accumulateurs qui les actionnent.

4° *Tramways à accumulateurs.* — L'entretien d'une batterie d'accumulateurs coûte facilement de 0,10 fr. à 0,15 fr. par voiture-kilomètre. Comme on l'a dit précédemment, ce système de traction est extrêmement onéreux quand les voitures ont à effectuer un parcours accidenté.

Il faut remarquer, en outre, qu'une batterie, pesant de 3 à 4 tonnes, augmente d'un quart environ le poids de la voiture. Il en résulte une consommation d'énergie plus grande,

supplément auquel vient s'ajouter l'électricité perdue par suite du mauvais rendement de la batterie (70 à 75 p. 100).

L'entretien de la voie est également plus dispendieux.

Pour toutes ces raisons il faut compter, par rapport aux calculs faits pour un tramway à trolley, sur une augmentation de dépense de 0,20 fr. à 0,25 fr. par voiture-kilomètre. Et encore l'exploitation ne devra-t-elle pas présenter des sujétions par trop spéciales, car, avec un mauvais profil en long et des voitures lourdes, on arriverait à une majoration plus importante.

Coefficient d'exploitation. — Quand on veut se rendre compte de la situation économique et industrielle d'une ligne de tramways il ne suffit pas de consulter la dépense effectuée par voiture-kilomètre.

Un chef d'exploitation peut, en effet, diminuer sensiblement ce facteur en faisant parcourir à ses voitures beaucoup de kilomètres dans une même journée. Mais, dans ce cas, les recettes par voiture-kilomètre subiront une baisse proportionnelle et le résultat final sera mauvais. Il y a un juste milieu à réaliser. On se rendra compte s'il est atteint en consultant le *coefficient d'exploitation*, qui donne la proportion des dépenses aux recettes.

Exemple : soit une ligne sur laquelle le coefficient d'exploitation est de 70 p. 100. Cela voudra dire que les dépenses seront égales à 70 p. 100 des recettes.

Le coefficient d'exploitation joue un grand rôle dans l'appréciation économique des affaires de tramways. Mais il ne

peut renseigner qu'autant que l'on connaît l'un des facteurs : recettes brutes ou dépenses.

Ces facteurs peuvent très bien ne pas se rapporter à la voiture-kilomètre. Par exemple on partira, comme le fait le *Journal officiel* dans ses statistiques trimestrielles, de la recette et de la dépense par kilomètre de ligne.

Un tramway, pour être intéressant, doit rapporter au moins 30 000 fr par kilomètre et par an ; car, la dépense de premier établissement étant d'environ 200 000 fr. par kilomètre, il faut, pour servir au capital un intérêt de 6 p. 100, une recette nette de 12 000 fr par kilomètre et par an, ce qui correspond à un coefficient d'exploitation de 60 p. 100, qui est normal.

Un chiffre que les exploitants consultent fréquemment, car il donne une idée de l'utilisation du matériel, c'est la recette par voiture et par jour. A Paris une voiture doit rapporter au moins 100 fr par jour. Dans les exploitations de province on peut se tirer d'affaire avec des recettes de 50 à 60 fr.

Les coefficients d'exploitation, sur les tramways électriques bien exploités, varient de 60 à 70 p. 100. On préconisait, il y a quelque temps, des coefficients moindres (50 à 55 p. 100). Mais la pratique a démontré qu'ils ne pouvaient être que très difficilement atteints.

Comparaison avec les autres systèmes de traction. — Il est aujourd'hui reconnu que la traction électrique (du moins la traction par conducteurs aériens ou souterrains) est, d'une

manière générale, sensiblement plus économique que tout autre système.

D'abord sa supériorité sur la traction à chevaux est évidente puisque, avec ce dernier système, la voiture-kilomètre revient, pour la traction seulement, au moins deux fois plus cher qu'avec l'électricité (de 0,50 fr à 0,60 fr). En outre, la traction par chevaux se prête peu à une exploitation intensive et, dès que le profil est accidenté, elle devient forcément très lente. C'est d'ailleurs un système universellement condamné et l'on peut prévoir qu'avant peu toutes les lignes de tramways seront à traction mécanique.

Les principaux systèmes de traction mécanique employés, en dehors de l'électricité, sont :

La *traction funiculaire* (usitée surtout en Amérique) ;

La *traction avec moteurs à vapeur* (locomotives avec ou sans foyer, moteurs Serpollet, moteurs Purrey, etc...)

La *traction à air comprimé ;*

La *traction avec moteurs à gaz.*

Lorsqu'il s'agit d'une exploitation extraordinairement intensive (comme sur certaines lignes de New-York où les voitures se suivent à 80 ou 100 m d'intervalle), la traction funiculaire peut donner des résultats économiques. Mais les dépenses de premier établissement sont très élevées (500 000 fr. au moins, par kilomètre de voie double). En outre, le travail nécessaire pour vaincre le frottement du câble prend une importance excessive, dès que le tracé devient un peu sinueux[1].

[1] A Denver (États-Unis) on a trouvé qu'une courbe de 90° absorbait, avec

Aux États-Unis, ce système ne se développe plus. Quelques Compagnies abandonnent même définitivement le câble pour la traction électrique par conducteurs souterrains, en utilisant les caniveaux mêmes de leurs funiculaires.

La traction à vapeur avec des *locomotives ordinaires, à foyer*, n'est guère admissible dans une grande ville, en raison du dégagement de fumée que les machines occasionnent. Ce système n'est d'ailleurs économique que si l'on a à remorquer de véritables trains, ce qui n'est pas le cas d'une exploitation de tramways, celle-ci devant comporter surtout des voitures rapides, légères et à départs très rapprochés.

Pour éviter les dégagements de fumée on peut, il est vrai, brûler du coke et même afin de diminuer le « poids mort » inhérent aux locomotives, substituer des *automotrices* aux locomotives. Tels sont les systèmes Rowan, Serpollet, Purrey etc... Ces systèmes sont ingénieux ; mais ils ne sont pas économiques[1]. En outre on n'est pas encore arrivé à créer de bonnes automotrices à vapeur, à l'abri de toute critique, surtout pour ce qui concerne le bruit, les odeurs, les dégagements de gaz et les vibrations.

Les *locomotives sans foyer* ou *locomotives à eau chaude* sont d'un emploi plus séduisant, attendu qu'elles ne dégagent que de la vapeur et que l'on peut même, en faisant passer celle-ci dans des réchauffeurs, la rendre complètement invi-

un rayon de 16,764 m, 20,64 chevaux. En alignement droit il faut par km de câble 5,25 chevaux.

A Chicago, sur une ligne de 8 km. le câble absorbe, à lui seul, à la vitesse de 15,5 km, une puissance de 184 chevaux.

[1] 0,43 fr. à 0,50 à Paris, pour la traction seulement, par voiture-kilomètre.

sible ; mais elles présentent de sérieux inconvénients notamment : un poids mort important, l'immobilisation du matériel pendant la recharge des locomotives, des frais de traction assez élevés (0,43 fr. par voiture à Paris). Ces inconvénients sont d'autant plus sensibles que le profil en long de la ligne est plus accidenté.

Avec l'*air comprimé* on est dans de meilleures conditions, attendu que l'on peut facilement employer des automotrices et que d'autre part, en ayant recours à de hautes pressions (60 à 80 atmosphères) on peut effectuer très rapidement la recharge des voitures. Mais tout le cycle que doit parcourir l'air employé, depuis le moment où il est aspiré par les machines du dépôt jusqu'à celui où il sort des moteurs de l'automotrice, est onéreux. Sur Saint-Augustin Cours de Vincennes (Paris) on brûle 6,2 kg de charbon par voiture-kilomètre et celle-ci revient, finalement, pour la traction seulement, à 0,57 fr.

Les *tramways à gaz* sont encore peu répandus. Ils présenteraient un certain intérêt si le prix du gaz s'abaissait d'une façon très sensible. Mais jamais ils n'auront la souplesse et l'élasticité des tramways électriques.

Ainsi se trouve corroboré ce que nous disions plus haut de la supériorité de la traction électrique.

Évidemment, lorsqu'il s'agit d'appliquer un système de traction mécanique on est souvent guidé par des considérations autres que ses qualités intrinsèques et les compagnies se préoccupent, avant tout, d'adopter telle combinaison qui présentera pour elles le plus d'avantages, étant données la

nature et la durée de leurs contrats. Aussi ne peut-on pas dire que l'électricité doive être appliquée par tous et dans tous les cas. Mais, presque toujours, dès qu'il s'agira d'une exploitation suffisante et rationnellement établie, c'est la traction électrique qui constituera la solution la plus économique et qui sera accueillie avec le plus de faveur par la population.

CHAPITRE XII

CONCESSIONS ET RÉGLEMENTATION ADMINISTRATIVE

Octroi des concessions. — Exécution des travaux. — Etablissement des conducteurs aériens et souterrains. — Protection des lignes télégraphiques et téléphoniques. — Exploitation et entretien. — Contrôle. — Cession, emprunt et rachat des concessions. — Réglementation financière.

Annexes : Loi du 25 juin 1895 concernant l'établissement des conducteurs d'énergie électrique. — Instruction technique pour l'établissement des conducteurs d'énergie électrique [1].

Octroi des concessions. — Les tramways sont concédés en exécution de la *loi du 11 juin* 1880, sur les chemins de fer d'intérêt local et les tramways.

Mais, alors que, pour un chemin de fer d'intérêt local, l'utilité publique est déclarée et l'exécution autorisée par une loi, il suffit, dans le cas d'un tramway, d'un décret délibéré en Conseil d'État, sur le rapport du ministre des Travaux Publics, après avis du ministre de l'Intérieur.

Les tramways sont concédés.

[1] Ces annexes ne reproduisent que des documents intéressant les *tramways électriques*. Le lecteur devra se reporter, pour les conditions communes à tous les tramways, aux lois, décrets et réglements sur la matière (loi du 11 juin 1880, décret du 18 mai 1881, décrets du 6 août 1881 et du 13 février 1900 etc...)

a) *Par l'État*, lorsque la ligne doit être établie en tout ou partie sur une route nationale.

b) *Par le conseil général*, au nom du département, lorsque la voie ferrée, sans emprunter une route nationale, doit être établie en tout ou partie, soit sur une route départementale, soit sur un chemin de grande communication ou d'intérêt commun, ou doit s'étendre sur le territoire de plusieurs communes.

c) *Par le conseil municipal*, lorsque la voie ferrée est établie entièrement sur le territoire de la commune, mais sur des voies autres que celles définies dans les deux paragraphes ci-dessus.

Aucune concession ne peut d'ailleurs être accordée sans une enquête, à laquelle il est procédé dans les formes prévues par le *décret du* 18 *mai* 1881.

C'est dans ce décret que les demandeurs en concession trouveront des renseignements tout à fait circonstanciés sur les dossiers qu'ils ont à établir.

L'enquête a une durée de un mois.

Le Préfet consulte, en outre, sur l'utilité et la convenance de l'entreprise d'une part les Chambres de commerce et, d'autre part, le conseil général et le ou les conseils municipaux intéressés.

Puis il fait rédiger, par les ingénieurs du département, un *cahier des charges* sur les bases d'un cahier des charges type, dressé en 1881 et modifié depuis, pour quelques articles, par un décret du 13 février 1900.

Une *convention*, concédant le tramway aux conditions pré-

vues par le cahier des charges, est alors préparée; le dossier subit ensuite l'examen du Conseil général des Ponts et Chaussées, puis du Conseil d'État; enfin, tout étant en règle, les signatures sont échangées, en même temps que le concessionnaire effectue le versement de son cautionnement. Il ne reste plus, ensuite, qu'à obtenir le *décret d'utilité publique* prévu par la loi du 11 juin 1880.

Exécution des travaux. — Les travaux sont exécutés par le concessionnaire, sous la surveillance du préfet et l'autorité du ministre des Travaux Publics, en se conformant aux conditions de son cahier des charges, ainsi qu'au *décret du 6 août 1881.*

Ce décret a été pris en exécution de l'article 38 de la loi du 11 juin 1880, qui spécifie que :

Un règlement d'administration publique déterminera les mesures à imposer au concessionnaire pour tout ce qui concerne *l'établissement et l'exploitation des voies ferrées sur le sol des voies publiques.*

Le décret du 6 août 1881, qui est extrêmement important en matière de tramway, puisque la caractéristique d'un tramway est justement l'emploi à peu près exclusif du sol des voies publiques [1], a été récemment modifié par un *décret du 13 février 1900.*

[1] La loi n'a pas indiqué clairement ce qu'elle entendait par un tramway. Cependant la jurisprudence du Conseil d'Etat tend à considérer comme tramway une voie ferrée, dont la plateforme est toujours accessible aux voitures ou aux piétons et dont l'établissement est effectué, sans qu'il y ait séparation des héritages.

Au fur et à mesure que les travaux sont terminés sur des parties de voies ferrées susceptibles d'être livrées utilement à la circulation, il est procédé à la reconnaissance et, s'il y a lieu, à la réception provisoire de ces travaux par une *commission de réception*, nommée par le préfet.

La même commission procède à la réception générale de la ligne, quand toutes les réceptions provisoires ont été effectuées.

Il est à remarquer que, par le fait même que l'entreprise est déclarée d'utilité publique, le concessionnaire est investi, pour l'exécution des travaux dépendant de la concession, de tous les droits que les lois et règlements confèrent à l'administration, en matière de travaux publics (expropriations, occupations temporaires, etc.).

Établissement des conducteurs aériens et souterrains. — L'établissement des conducteurs aériens et souterrains n'est réglé ni par la loi du 11 mai 1880, ni par le cahier des charges de la concession.

L'installation de ces conducteurs est faite sous la surveillance des ingénieurs des postes et télégraphes, par application de la *loi du 25 mai 1895, sur l'établissement des conducteurs d'énergie électrique* [1].

[1] Cela ne dispense pas de se mettre d'accord avec le service qui entretient la voie empruntée (Ponts et Chaussées, Service vicinal, Agents-voyers) pour tout ce qui concerne l'exécution des tranchées, la pose des poteaux, l'établissement des fils aériens etc.

Pour la grande voirie, des arrêtés de principe ont été pris, en exécution d'une circulaire du Ministre des Travaux Publics en date du 1er septembre 1893.

Voir, aux annexes, le texte de la loi de 25 juin 1895.

Aucun conducteur, dit l'article 4 de cette loi, ne peut être établi au-dessus ou au-dessous des voies publiques, sans une autorisation donnée par le préfet, sur l'avis technique des ingénieurs des postes et des télégraphes, et conformément aux instructions du ministre du Commerce, de l'Industrie, des Postes et des Télégraphes.

Les instructions du ministre ont d'ailleurs fait l'objet d'une circulaire en date du 15 octobre 1900, rédigée après avis du *Comité d'Électricité*, institué par la loi du 25 mai 1895.

Cette circulaire divise les courants en deux catégories : la *haute tension*, au-dessus de 600 volts, pour les courants continus, et de 120 volts pour les courants alternatifs, et la *basse tension* pour les courants continus à 600 volts et au-dessous et les courants alternatifs à 120 volts et au-dessous.

Son examen complet nous entraînerait trop loin[1].

Notons seulement qu'elle fixe à 1 volt, la perte de charge kilométrique, le long de la voie ferrée. Toutefois, dans certains cas particuliers, une perte de charge supérieure peut être autorisée.

Si la voie passe sur un ouvrage métallique elle devra, autant que possible, être isolée du sol dans la traversée de l'ouvrage. En tout cas, la perte de charge, entre les deux extrémités de l'ouvrage, ne dépassera pas, en marche normale, 0,25 volt.

Enfin, dans le cas où il est fait usage de conducteurs souterrains, il faut que ceux-ci soient divisés en tronçons que

[1] Voir aux annexes, le texte de cette circulaire.

l'on puisse débrancher, en vue de la détermination de la résistance d'isolement. Cette résistance, par rapport à la terre, mesurée en ohms, ne doit pas être inférieure à 5 fois le carré de la plus grande différence de potentiel efficace, entre ces conducteurs, exprimée en volts. Soit, $5 \times \overline{500}^2 =$ 1 250 000 ohms, pour un courant à 500 volts et $5 \times \overline{5\,000}^2 =$ 125 000 000 ohms, pour un courant triphasé à 5 000 volts.

Protection des lignes télégraphiques et téléphoniques. — Les courants électriques employés dans les conducteurs aériens des lignes de tramways peuvent occasionner, par induction, des phénomènes de perturbation dans les lignes télégraphiques et téléphoniques situées dans le voisinage.

La loi du 25 juin 1895 met les travaux nécessaires pour les éviter ou les faire disparaître à la charge du concessionnaire de la ligne de tramway.

Ces travaux consistent dans le déplacement des lignes télégraphiques et téléphoniques, situées trop près de la ligne de tramway[1] et, surtout, dans le doublement des lignes téléphoniques.

Ils constituent une charge très lourde pour les concessionnaires, d'autant plus que l'administration avait émis la prétention de leur faire payer, également, l'entretien des deuxièmes fils.

A la suite de réclamations réitérées, le ministre a apporté une atténuation sensible à ces dispositions en décidant :

[1] Il doit y avoir au moins 1 mètre entre les conducteurs aériens et les lignes télégraphiques ou téléphoniques.

1° Que l'entretien des deuxièmes fils ne serait plus mis à la charge des Compagnies de Tramways (arrêté du 10 décembre 1900);

2° Qu'à partir du 1er juin 1901, les réseaux téléphoniques d'abonnement et les lignes téléphoniques d'intérêt privé ne seraient plus établis qu'à double fil (arrêté du 2 mai 1901).

Exploitation et entretien. — Les règles administratives auxquelles le concessionnaire doit se conformer pour l'exploitation et l'entretien sont déterminées :

1° Par le cahier des charges de la concession;

2° Par les décrets du 6 août 1881 et du 13 février 1900.

3° Par les arrêtés que prennent les préfets en exécution de l'article 40 du décret du 6 août 1881.

Il est à remarquer que l'*ordonnance du* 15 *novembre* 1846, *portant règlement sur la police, et la sûreté de l'exploitation des chemins de fer* n'est pas applicable aux tramways.

Ainsi s'explique l'intervention des préfets, pour appliquer par des arrêtés spéciaux aux tramways, quelques-unes des dispositions de cette ordonnance. Comme, par exemple, la fixation des dimensions à observer pour chaque place de voyageur, l'obligation d'indiquer dans les voitures le nombre de places, l'interdiction de la surcharge, etc.

Mais les préfets vont très souvent au delà de cette ordonnance et le préfet de police, à Paris, a pris par exemple à l'égard des tramways à traction mécanique, une ordonnance contenant une centaine d'articles (ordonnance du 10 juillet 1900). Et encore, au fur et à mesure que le besoin s'en fait

sentir, de nouvelles dispositions sont-elles prises sous forme d'arrêtés spéciaux.

On comprendra que nous ne puissions analyser ici, même sommairement, ces divers documents.

Ajoutons que si les tramways ne sont pas soumis à l'ordonnance de 1846, on peut, en revanche, leur appliquer quelques-uns des articles de la *loi du 25 juillet 1845 sur la police des chemins de fer*. Ce sont principalement ceux qui intéressent la sûreté de la circulation.

Contrôle. — Ce contrôle est prévu par l'article 21 de la loi du 11 juin 1880 qui dit :

La circulation, l'entretien et les réparations des voies ferrées avec leurs dépendances, l'entretien du matériel et le service de l'exploitation sont soumis au contrôle et à la surveillance des préfets, sous l'autorité du ministre des Travaux publics.

Les frais de contrôle sont à la charge des concessionnaires. Ils sont réglés par le cahier des charges ou, à défaut, par le Préfet sur l'avis du Conseil général et approuvés par le ministre des Travaux publics.

Les décrets des 6 août 1881 et 13 février 1900 ont précisé l'organisation du contrôle et celui-ci est constitué, maintenant, comme il suit (article 39) :

Le préfet nomme, sous l'autorité du ministre des Travaux publics, les agents chargés du contrôle et de la surveillance, prévus par l'article 21 de la loi du 11 juin 1880. Ces agents sont pris dans le service des Ponts et Chaussés et des Mines.

Ils ont notamment pour mission :

1° En ce qui concerne l'*exploitation commerciale* :

De surveiller le mode d'application des tarifs approuvés et de constater le mouvement de la circulation, les recettes et les dépenses d'entretien et d'exploitation.

2° En ce qui concerne l'*exploitation technique* :

De vérifier l'état de la voie de fer, des terrassements, des ouvrages d'art et du matériel roulant et de veiller à l'exécution des règlements relatifs à la police et à la sûreté de la circulation.

3° En ce qui concerne la *police* :

De surveiller la composition, le départ, l'arrivée, la marche et le stationnement des trains, l'observation des règlements de police, tant par le public que par le concessionnaire[1], etc.

Les frais de contrôle sont en général de 50 francs par kilomètre de voie concédée. Mais l'administration a tendance à les augmenter et, dans les cahiers des charges des nouveaux tramways, ils figurent pour 100 francs par kilomètre.

Cession, emprunt et rachat des concessions. — Nous avons vu que les concessions étaient accordées par l'État, les départements et les communes.

Lorsque la concession doit être accordée par l'État, il est loisible aux départements et aux communes de se poser demandeurs en concession, à charge de présenter un rétro-

[1] A Paris, où il y a deux préfets, le préfet de la Seine et le préfet de police, le contrôle relève du préfet de la Seine pour tout ce qui concerne les voies et du préfet de police pour le reste.

cessionnaire, qu'ils font accepter en même temps qu'ils sont déclarés concessionnaires.

Supposons le cas le plus fréquent d'une concession accordée à un particulier. Celui-ci ne pourra généralement pas exploiter lui-même, car la *convention* lui imposera, par exemple, de se substituer une société anonyme, dans un délai assez limité (six mois).

Les pouvoirs publics, par la constitution d'une société exploitante, donnent à l'entreprise un caractère de stabilité plus marqué, en même temps que se trouvent supprimées toutes les difficultés qui pourraient se produire, en cas de décès du concessionnaire.

Pour régulariser la cession de la concession et la substitution de la société au concessionnaire un décret délibéré en conseil d'État est obligatoire [1].

Si, à son tour, la société veut céder la concession à une autre société ou fusionner avec elle, ou affermer sa concession, un nouveau décret sera nécessaire.

Une société de tramways n'a pas la liberté d'allure d'une société industrielle. C'est ainsi qu'elle ne peut, sans autorisation, affecter une partie de son capital à une entreprise autre que celle pour laquelle elle a été constituée. Elle ne peut pas, non plus, comme nous le verrons plus loin, procéder, sans autorisation, à une émission d'obligations.

La concession d'une ligne de tramways est-elle absolue ?

S'il en était ainsi, le développement des tramways dans

[1] Voir, à ce sujet, la circulaire du ministre des Travaux publics du 10 juin 1898.

une ville pourrait se trouver souvent paralysé, attendu qu'il y a des artères sur lesquelles doivent converger, non pas une, mais plusieurs lignes de tramways. Comme, d'autre part, la largeur des rues est limitée et ne se prête pas à l'établissement de plusieurs voies parallèles, le législateur n'a pas manqué de prévoir, pour les entreprises nouvelles, un droit d'emprunt et de circulation sur les lignes déjà existantes.

L'article 6 de la loi du 11 juin 1880, stipule que le nouveau concessionnaire devra, pour les emprunter, payer à l'ancien les droits de péage fixés par le cahier des charges [1]. En cas de désaccord, le ministre des Travaux publics statue (article 47 du décret du 6 août 1881).

Mais, dans la pratique, les choses ne se passent pas aussi simplement soit que les droits de péage n'aient pas été explicitement indiqués pour la section empruntée [2], soit que le nouveau concessionnaire, au lieu d'exploiter simplement la section empruntée de bout en bout, veuille prendre et déposer des voyageurs en cours de route.

Aussi a-t-on reconnu nécessaire de préciser, dans les nouveaux cahiers des charges, les stipulations un peu simplistes de la loi du 11 juin 1880 et voici, par exemple, le nouvel article (23 *bis*) qui a été inséré dans les cahiers des charges des lignes de tramways, récemment concédées à Paris [3] :

[1] Voir ces droits de péage dans le cahier des charges type.

[2] C'est ce qui arrive, par exemple, pour le cas où un seul tarif s'applique à la ligne entière, alors que la section empruntée ne constitue qu'une petite fraction de la ligne.

[3] Des dispositions analogues, mais moins complètes, existent dans un certain nombre de cahiers des charges, concernant des concessions antérieures.

Si une ligne de tramways concédée par l'État, le département de la Seine ou la ville de Paris emprunte partiellement les voies concédées, le concessionnaire ne pourra réclamer, du fait de l'emprunt, aucun droit de circulation, ni aucune indemnité pour privation de trafic.

Le concessionnaire n'aura droit qu'au payement d'un péage annuel, que l'on calculera en répartissant, proportionnellement au nombre de kilomètres-voiture afférents aux troncs communs :

1° L'intérêt à 5 p. 100 de la partie correspondante du capital de premier établissement des voies;

2° Les dépenses d'entretien et de réfection des voies.

Mais le concessionnaire de la ligne ne sera pas tenu de mettre à la disposition de l'emprunteur ses installations électriques ni de lui fournir du courant.

Enfin l'autorité concédante se réserve, dans le cahier des charges, le droit de racheter la concession.

Ce rachat est généralement prévu comme il suit :

S'il a lieu avant l'expiration des quinze premières années de la concession l'indemnité à allouer au concessionnaire est fixée par une commission de neuf membres nommés, trois par le ministre, trois par le concessionnaire et trois par les six membres déjà désignés.

Si, au contraire, le rachat n'a lieu qu'après quinze ans d'exploitation, le concessionnaire recevra, pour chaque année restant à courir de sa concession, une annuité, dont on calculera le montant, en prenant, parmi les sept dernières années, les cinq années qui ont donné le plus fort produit

net et calculant, pour ces cinq années, le produit net moyen annuel.

Dans aucun cas, cette recette moyenne annuelle ne devra être inférieure au produit net de la dernière année.

De plus, le concessionnaire sera indemnisé, à dire d'experts, pour son matériel roulant, son outillage et son mobilier.

Réglementation financière. — Nous avons déjà indiqué qu'une compagnie concessionnaire ne pouvait pas, sans autorisation, affecter son capital à une entreprise autre que celle faisant l'objet de la concession.

L'administration peut se rendre compte qu'il en est ainsi par la production d'états trimestriels que prévoit l'article 19 de la loi du 11 juin 1880. Cet article oblige le concessionnaire à fournir au préfet, tous les trois mois, un compte rendu détaillé des résultats de l'exploitation, comprenant les dépenses d'établissement, celles d'exploitation et les recettes brutes.

En outre, par application du décret du 20 mars 1882, il est remis au préfet, avant le 31 mars de chaque année, un compte rendu détaillé de l'exploitation pour l'année précédente. Étant, d'ailleurs, bien entendu, que le compte d'entretien et d'exploitation ne doit comprendre aucune dépense d'établissement, ni aucune dépense pour augmentation du matériel roulant.

Si, par suite des besoins de son exploitation, le concessionnaire désire procéder à une émission d'obligations, il ne

le peut qu'en se conformant à l'article 18 de la loi du 11 juin 1880.

Aucune émission d'obligations ne pourra avoir lieu, dit cet article, qu'en vertu d'une autorisation du ministre des Travaux publics, après avis du ministre des Finances.

Il ne pourra, en tout cas, être émis d'obligations pour une somme supérieure au montant du capital-actions [1].

Aucune émission d'obligations ne doit être autorisée avant que les quatre cinquièmes du capital-actions aient été versés et employés en achat de terrains, approvisionnements sur place ou en dépôt de cautionnement.

Toutefois, les concessionnaires pourront être autorisés à émettre des obligations, lorsque la totalité du capital-actions aura été versée et s'il est dûment justifié que plus de la moitié de ce capital-actions a été employé dans les termes du paragraphe précédent; mais les fonds provenant de ces émissions anticipées devront être déposés à la caisse des dépôts et consignations et ils ne pourront être mis à la disposition des concessionnaires que sur l'autorisation formelle du ministre des Travaux publics.

[1] Ce capital-actions doit atteindre la moitié, au moins, de la dépense jugée nécessaire pour le complet établissement et la mise en exploitation du tramway.

ANNEXES

ANNEXES

LOI DU 25 JUIN 1895 CONCERNANT L'ÉTABLISSEMENT DES CONDUCTEURS D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

ARTICLE PREMIER. — En dehors des voies publiques, les conducteurs électriques qui ne sont pas destinés à la transmission des signaux et de la parole et auxquels le décret-loi du 27 décembre 1851 n'est pas dès lors applicable pourront être établis sans autorisation ni déclaration.

ART. 2. — Les conducteurs aériens ne pourront être établis dans une zone de 10 mètres en projection horizontale de chaque côté d'une ligne télégraphique ou téléphonique, sans entente préalable avec l'administration des Postes et des Télégraphes.

En conséquence, tout établissement de conducteurs, dans les conditions du paragraphe précédent, devra faire l'objet d'une déclaration préalable adressée au préfet du département et au préfet de police dans le ressort de sa juridiction. Cette déclaration sera enregistrée à sa date et il en sera donné récépissé. Elle sera communiquée sans délai au chef du service local des postes et des télégraphes et transmise par les soins de ce dernier à l'administration centrale.

Le département des postes et des télégraphes devra notifier dans un délai de trois mois à partir de la déclaration, l'acceptation du projet présenté ou les modifications qu'il réclame dans l'établissement des conducteurs aériens.

En cas de non-entente, les conducteurs aériens seront établis conformément à la décision du Ministre du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes et après avis du comité d'électricité visé par l'article 6 ci-dessous.

En cas d'urgence et en particulier dans le cas d'installation temporaire, le délai de trois mois prévu au troisième paragraphe du présent article pourra être abrégé.

ART. 3. — Le Ministre, après avis du comité d'électricité, détermine les modifications à apporter, pour garantir les lignes, aux conducteurs existant actuellement dans la zone ci-dessus, et cela sous réserve des droits qui pourraient être acquis. Le département des postes et des télégraphes avisera dans un délai de six mois au plus à partir de la promulgation de la présente loi, les exploitants dont les conducteurs devraient être modifiés. Ceux qui font usage de ces conducteurs sont tenus de se conformer aux prescriptions ministérielles dans un délai maximum d'un an à partir d'une mise en demeure adressée par le département des postes et des télégraphes.

ART. 4. — Aucun conducteur ne peut être établi au-dessus ou au-dessous des voies publiques sans une autorisation donnée par le préfet, sur l'avis technique des ingénieurs des postes et des télégraphes, et conformément aux instructions du Ministre du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes.

ART. 5. — Les dispositions ci-dessus ne concernent pas les installations de conducteurs d'énergie électrique faites pour les besoins de leur exploitation par les administrations de l'État ou par les entreprises de services publics soumises au contrôle de l'Administration.

Les projets de ces installations électriques ainsi que toutes les modifications qui y sont apportées devront, sauf lorsqu'ils concerneront les chemins de fer et les voies navigables, être soumis à l'approbation du Ministre des postes et des télégraphes, après examen en conférence par les services intéressés.

ART. 6. — Il sera formé près le ministère du commerce, de l'industrie, des postes et des télégraphes, un Comité d'électricité permanent, composé, pour une moitié, de représentants professionnels des grandes industries électriques de France ou des industries faisant usage des applications de l'électricité.

Les membres de ce comité et son président seront nommés par le Ministre. Le président sera choisi en dehors des membres du comité.

Le Comité d'électricité donnera son avis sur les règles générales applicables dans les cas visés aux articles 4 et 5 ci-dessus et sur toutes les questions qui lui seront soumises par le Ministre.

ART. 7. — Toute installation électrique devra être exploitée et entretenue de manière à n'apporter, par induction, dérivation ou autrement, aucun trouble dans les transmissions télégraphiques ou téléphoniques par les lignes préexistantes.

Lorsque l'installation exigera, dans ce but, le déplacement ou la modification des lignes télégraphiques ou téléphoniques préexistantes, le comité d'électricité, sera consulté conformément aux articles 2, 3 et 6 ci-dessus. Les frais nécessités par ces déplacements ou modifications seront à la charge de l'exploitant.

ART. 8. — Quiconque aura contrevenu aux dispositions de la présente loi ou des règlements d'exécution sera, après une mise en demeure non suivie d'effet, puni des pénalités portées à l'article 2 du décret-loi du 27 décembre 1851.

Les contraventions seront constatées, poursuivies et réprimées dans les formes déterminées par le titre V dudit décret.

ART. 9. — Le décret du 15 mai 1888 est abrogé.

INSTRUCTION TECHNIQUE POUR L'ÉTABLISSEMENT DES CONDUCTEURS D'ÉNERGIE ÉLECTRIQUE

(Application de la loi du 25 juin 1895.)

La présente instruction a pour objet de définir les conditions électriques imposables aux installations d'énergie électrique, par application de la loi du 25 juin 1895.

On désignera, dans ce qui suit :

Sous le nom d'*installations à haute tension* les installations à courant continu utilisant des tensions supérieures à 600 volts, et les installations à courants alternatifs utilisant des tensions maximum efficaces supérieures à 120 volts.

Sous le nom d'*installations à basse tension* les installations à courant continu utilisant des tensions inférieures ou égales à 600 volts, et les installations à courants alternatifs utilisant des tensions maximum efficaces inférieures ou égales à 120 volts.

CHAPITRE PREMIER

Prescriptions techniques spéciales aux conducteurs aériens.

ARTICLE PREMIER. — *Supports.* — Les supports doivent présenter toutes les garanties de solidité nécessaires.

En particulier, les supports en bois doivent être prémunis contre les actions de l'humidité ou du sol.

ART. 2. — *Isolateurs.* — La distance entre deux isolateurs consécutifs ne doit pas être supérieure à 100 m, sauf exception motivée.

L'emploi des isolateurs à huile ou à simple cloche est considéré comme insuffisant dans les installations à haute tension.

ART. 3. — *Conditions spéciales d'établissement des conducteurs aériens.* — § 1er. *Résistance mécanique.* — Les conducteurs doivent avoir une résistance suffisante à la traction pour qu'il n'y ait aucun danger de rupture sous l'action des efforts qu'ils auront à supporter.

§ 2. *Conducteurs recouverts d'un isolant.* — Lorsqu'un conducteur est recouvert d'un isolant, la matière isolante doit avoir une épaisseur d'au moins 2 mm et être suffisamment protégée aux points d'attache contre la détérioration ou l'usure par le frottement.

Cette couverture doit être entretenue en bon état.

§ 3. *Interdiction de l'accès des conducteurs au public.* — *a*) Les conducteurs doivent être hors de la portée du public [1] ;

b) Chaque support portera l'inscription : « Défense absolue de toucher aux fils » ;

c) Dans le cas de courants continus à tension supérieure à 600 volts ou de courants alternatifs, le permissionnaire doit munir les supports, sur une hauteur de 50 cm, à partir de 2 m au-dessus du sol, de dispositions spéciales pour empêcher, autant que possible, d'atteindre les conducteurs.

En outre, sur les appuis d'angle, on prendra les dispositions nécessaires pour que le conducteur d'énergie électrique, au cas où il viendrait à abandonner l'isolateur, soit encore retenu et ne risque pas de traîner sur le sol.

[1] Les conditions relatives à la hauteur des appuis au-dessus du sol sont définies par les services de voirie intéressés.

§ 4. *Traversée des voies publiques.* — Dans le cas de courants continus à tension supérieure à 600 volts ou de courants alternatifs, un dispositif de protection sera établi au-dessous des conducteurs d'énergie électrique, dans toute la partie correspondant à la traversée des voies publiques, rivières et canaux navigables, à moins que le permissionnaire n'ait fait agréer une disposition rendant le conducteur inoffensif en cas de rupture.

La même précaution pourra être imposée dans tous les cas où la chute d'un conducteur serait susceptible de compromettre la sécurité de la circulation.

§ 5. *Traversée des lieux habités.* — Dans la traversée des lieux habités, les conducteurs d'énergie électrique sont, en outre, soumis aux règles suivantes :

Si les conducteurs de la canalisation principale prennent leur appui aux maisons riveraines, ils doivent être placés à 1 m au moins des façades, à 0,50 m au moins au-dessus des fenêtres les plus élevées, et, en tout cas, hors de la portée des habitants.

S'ils passent au-dessus d'un toit, ils doivent en être à une distance de 2,50 m au moins.

§ 6. *Branchements particuliers.* — Les conducteurs formant branchement particulier doivent être protégés dans toutes les parties où ils sont à la portée des personnes.

ART. 4. — *Voisinage des lignes télégraphiques ou téléphoniques appartenant à l'État.* — § 1. Dans tous les cas, la distance entre les conducteurs d'énergie électrique et les fils télégraphiques ou téléphoniques, doit être d'un mètre au moins.

§ 2. Lorsque les conducteurs d'énergie électrique parcourus par des courants dits « à haute tension » suivent parallèlement une ligne télégraphique ou téléphonique, la distance à établir entre ces lignes devra toujours être fixée de manière qu'en aucun cas il ne puisse y avoir de contact accidentel.

Lorsque les conducteurs d'énergie seront fixés sur toute leur longueur, cette distance pourra être réduite à 1 m, comme il est dit ci-dessus (§ 1). Dans tous les autres cas, elle ne sera jamais inférieure à 2 m.

Les distances ci-dessus (§ 1 et 2) sont d'ailleurs indiquées sous les réserves spécifiées à l'article 7 de la loi.

§ 3. Aux points de croisement et dans le cas de courants dits « à

haute tension », tout contact éventuel entre les conducteurs d'énergie électrique et les fils télégraphiques ou téléphoniques préexistants sera prévenu à l'aide d'un dispositif mécanique de garde ou, à défaut, par une modification des lignes de l'État.

En outre, l'administration établira, si elle le juge nécessaire, aux frais dudit permissionnaire, des coupe-circuits spéciaux sur les fils télégraphiques ou téléphoniques intéressés.

§ 4. Si l'administration vient à établir ultérieurement des lignes télégraphiques ou téléphoniques croisant les conducteurs d'énergie électrique, les frais résultant des mesures de précaution indiquées ci-dessus seront à la charge de l'administration et le permissionnaire sera tenu d'exécuter les travaux qui lui seront indiqués.

ART. 5. — *Isolement électrique de l'installation.* — L'ensemble des conducteurs aériens de l'installation sera établi de manière à présenter un isolement kilométrique minimum de 5 mégohms, s'il s'agit d'installations dites « à haute tension », ou de 1 mégohm s'il s'agit d'installations dites « à basse tension ».

Dans l'appréciation de cette valeur minimum d'isolement, les agents contrôleurs devront d'ailleurs tenir compte de l'ensemble des mesures périodiques qui doivent être réglementairement effectuées par les exploitants.

CHAPITRE II

Prescriptions techniques spéciales aux conducteurs souterrains.

ART. 6. — *Conditions générales d'établissement des conducteurs souterrains.* — § 1. *Protection mécanique.* — Les conducteurs d'énergie électrique souterrains doivent être protégés mécaniquement contre les avaries que pourraient leur occasionner le tassement des terres, le contact des corps durs ou le choc des outils en cas de fouille.

§ 2. *Conducteurs électriques placés dans une conduite métallique.* — Dans tous les cas où les conducteurs d'énergie électrique sont placés dans une enveloppe ou conduite métallique, ils doivent être isolés avec le même soin que s'ils étaient placés directement dans le sol.

§ 3. *Précautions contre l'introduction des eaux.* — Les conduites, quelle que soit leur nature, doivent être établies de manière à éviter autant que possible l'introduction des eaux. En tout cas, des précau-

tions doivent être prises pour assurer la prompte évacuation des eaux et le drainage des fouilles.

§ 4. *Passage sur des ouvrages métalliques.* — Lorsque les câbles seront installés sur un ouvrage métallique, l'établissement de boîtes de coupures aux deux extrémités de l'ouvrage pourra être exigé de manière à permettre de vérifier aisément si le tronçon ainsi constitué présente la résistance d'isolement prescrite par l'article 11 ci-dessous.

ART. 7. — *Voisinage des conduites de gaz.* — § 1. Lorsque, dans le voisinage des conducteurs d'énergie électrique il existe des conduites de gaz, et que ces conducteurs ne sont pas placés directement dans le sol, le permissionnaire doit prendre les mesures nécessaires pour assurer la ventilation régulière de la conduite renfermant les câbles électriques et éviter l'accumulation des gaz.

ART. 8. — *Voisinage des conduites télégraphiques et téléphoniques.* — § 1. Lorsque les conducteurs d'énergie électrique suivent une direction commune avec une ligne télégraphique ou téléphonique, une distance d'au moins un mètre en projection horizontale doit exister entre ces conducteurs et la ligne télégraphique ou téléphonique, sous les réserves spécifiées à l'article 7 de la loi.

§ 2. Aux points de croisement les conducteurs d'énergie électrique doivent être placés à une distance minimum de 0,50 m. des conduites télégraphiques ou téléphoniques, à moins que la canalisation ne présente en ces points les mêmes garanties aux points de vue de la sécurité publique, de l'induction et des dérivations, que les câbles concentriques ou cordés, à enveloppe de plomb et armés.

ART. 9. — *Regards.* — Les regards établis par le permissionnaire ne doivent renfermer ni tuyaux d'eau, de gaz, d'air comprimé, etc., ni conducteurs d'électricité appartenant à un autre permissionnaire.

Les regards doivent être disposés de manière à pouvoir être ventilés.

Les plaques des regards doivent être convenablement isolées par rapport aux conducteurs d'énergie électrique.

ART. 10. — *Branchements.* — Les conducteurs d'énergie électrique formant branchements particuliers doivent être recouverts d'un isolant protégé mécaniquement d'une façon suffisante, soit par l'armature du câble conducteur, soit par des conduites en matière résistante et durable.

ART. 11. — *Isolement électrique de l'installation*. — Le réseau de conducteurs doit être disposé de telle manière qu'on puisse débrancher les canalisations privées et diviser en tronçons la canalisation principale.

La résistance absolue d'isolement de chaque tronçon entre les conducteurs et la terre, exprimée en ohms, ne doit jamais être numériquement inférieure à cinq fois le carré de la plus grande différence de potentiel efficace entre les conducteurs, exprimée en volts.

CHAPITRE III

Tramways à traction électrique.

ART. 12. — *Voies*. — La conductibilité de la voie devra être assurée dans les meilleures conditions possibles.

La perte de charge kilométrique le long de la voie ferrée ne devra pas dépasser 1 volt. Toutefois, dans certains cas particuliers, une perte de charge supérieure pourra être autorisée. Dans tous les cas, des précautions spéciales pourront en outre être prescrites en vue de protéger les masses métalliques de toute nature contre l'action des courants de retour.

Lorsque la voie passera sur un ouvrage métallique, elle devra autant que possible être isolée électriquement du sol dans la traversée de l'ouvrage. Les connexions devront être établies de telle sorte que la chute du potentiel entre les deux extrémités de l'ouvrage ne dépasse pas en marche normale 0,25 volt. Des mesures d'espèce pourront enfin être prescrites en vue d'atténuer la différence de potentiel entre la masse de l'ouvrage et le sol, toutes les fois que cela sera jugé nécessaire.

Les limites indiquées ci-dessus devront s'appliquer uniquement aux pertes de charge moyennes rapportées à la durée de marche.

ART. 13. — *Fils de trolley*. — Des dispositifs destinés à protéger mécaniquement les lignes télégraphiques ou téléphoniques contre les contacts avec le fil de trolley devront être établis à tous les points de croisement.

ART. 14. — Les fils de suspension du conducteur de trolley devront être isolés avec soin de ce conducteur et de la terre.

ART. 15. — *Cas particulier du montage avec fil neutre.* — L'emploi de deux fils de trolley supportés par un même appui sera admis lorsque le montage de l'installation comportera l'emploi des voies de retour comme fil neutre.

ART. 16. — *Prescriptions générales.* — Sous réserve des prescriptions ci-dessus, il sera fait application aux installations de tramways de toutes les dispositions énoncées dans les chapitres I et II et applicables en l'espèce.

CHAPITRE IV

Dispositions générales.

ART. 17. — Il est interdit d'employer la terre comme partie du circuit.

ART. 18. — *Transformateurs.* — Toutes les parties accessibles des transformateurs devront être mises soigneusement à la terre.

L'isolement entre chacun de leurs circuits ainsi qu'entre le primaire et la terre ne devra jamais être inférieur à 100 mégohms, mesuré à froid (15° environ) ou 10 mégohms, mesuré à chaud (70° environ).

ART. 19. — *Voisinage des poudreries et poudrières.* — Aucun conducteur d'énergie électrique ne peut être établi à moins de 20 m. d'une poudrerie ou d'un magasin à poudre, à munitions ou à explosifs, si ce conducteur est aérien, de 10 m. si ce conducteur est souterrain.

Cette distance se compte à partir de la clôture qui entoure la poudrerie ou du mur d'enceinte spécial qui entoure le magasin. Si ce mur n'existe pas, on devra considérer comme limite dudit magasin :

1° Le pied du talus des massifs de terre recouvrant les locaux si ceux-ci sont enterrés ;

2° Les points où émergent les gaines ou couloirs qui mettent les locaux en communication avec l'extérieur si ceux-ci sont souterrains.

ART. 20. — *Exception.* — Les demandes relatives à des installations comportant des tensions égales ou supérieures à 10 000 volts ou des dispositions techniques non prévues dans la présente instruction, ou des dérogations à cette instruction, sont réservées à l'examen et à la décision de l'administration supérieure.

ART. 21. — *Responsabilité du permissionnaire.* — Il demeure entendu que nonobstant les autorisations obtenues et l'application des dispositions ci-dessus, le permissionnaire est responsable vis-à-vis des tiers des accidents qui résulteraient de ses travaux ou de la présence de ses conduites et des conducteurs d'énergie électrique qu'elles contiennent.

TABLE DES MATIÈRES

PRÉFACE v

CHAPITRE PREMIER

DISPOSITIONS GÉNÉRALES DES TRAMWAYS ÉLECTRIQUES

Caractéristique d'un tramway électrique. — Tramways avec conducteurs aériens et trolley. — Tramways avec conducteurs aériens et archet. — Tramways avec conducteurs souterrains. — Tramways à contacts superficiels. — Tramways à accumulateurs. — Systèmes mixtes. — Courants employés pour la traction des tramways : (*a*) Courants continus; (*b*) Courants alternatifs et polyphasés. — Alimentation des lignes par un transport de force 1

CHAPITRE II

VOIE

Voie proprement dite. — Fondation et chaussée. — Éclissages électriques. — Rails soudés. — Joints plastiques. — Fuites de courant par les rails; actions électrolytiques. — Rampes et courbes. — Effort de traction; puissance 25

CHAPITRE III

TRAMWAYS AVEC CONDUCTEURS AÉRIENS

Conducteurs aériens. — Suspension des fils conducteurs : (*a*) Suspension par haubans et poteaux; (*b*) Suspension par haubans et

agrafes; (*c*) Suspension par poteaux-consoles. — Prises de courant : (*a*) Navette; (*b*) Trolley; (*c*) Trolley à frotteur; (*d*) Archet. — Aiguillages et croisements. — Distribution à trois fils. — Distribution par courants polyphasés. — Protection des lignes 47

CHAPITRE IV

TRAMWAYS AVEC CONDUCTEURS SOUTERRAINS

Dispositions générales. — I. Tramways avec caniveau axial. — Caniveau de Blackpool. — Système Love. — Système Connett. — Système de la General Electric Company. — Nouveaux caniveaux de New-York. — II. Tramways avec caniveau latéral. — Caniveau de Budapest, système Siemens. — Nouveau caniveau Siemens. — Caniveau de la Société Nouvelle d'Électricité. — Système Thomson-Houston. — Système Hœrde. — Caniveau à conducteur flexible, système Waller-Manville. — Galerie visitable 72

CHAPITRE V

TRAMWAYS A CONTACTS SUPERFICIELS

Considérations générales. — Système Claret et Vuilleumier. — Système de la Westinghouse Company. — Système Thomson-Houston. — Système Diatto. — Système Dolter. 117

CHAPITRE VI

TRAMWAYS A ACCUMULATEURS

Considérations générales sur l'emploi des accumulateurs pour la traction. — Principe et classification des accumulateurs. — Conditions de fonctionnement et d'emploi des accumulateurs. — Entretien et rendement. — Récupération de l'énergie. — Tramways à accumulateurs à charge ordinaire. — Tramways à accumulateurs à charge rapide. — Tramways à accumulateurs et à trolley. 146

CHAPITRE VII

MATÉRIEL ROULANT

Voitures. — Moteurs. — Fonctionnement des moteurs : (*a*) Moteurs à courant continu, excités en série ; (*b*) Moteurs à courant continu, excités en dérivation ; (*c*) Moteurs à courants polyphasés. — — Contrôleur. — Appareils divers. — Freins. — Éclairage et chauffage des voitures. — Fenders. — Voitures pour l'enlèvement des neiges. — Voitures diverses 169

CHAPITRE VIII

DÉPÔTS ET ATELIERS

Choix du dépôt. — Dispositions générales. — Visite et lavage du matériel. — Atelier. — Four à sable. — Magasin. — Matériel de secours. — Distribution électrique. — Personnel. 211

CHAPITRE IX

PRODUCTION, TRANSPORT ET TRANSFORMATION DE L'ÉLECTRICITÉ

Puissance d'installation. — Stations centrales pour alimentation directe. — Emploi des accumulateurs dans les stations centrales. — Feeders à basse tension. — Stations centrales pour transport de force. — Feeders à haute tension. — Sous-stations de transformation 225

CHAPITRE X

EXPLOITATION

Conditions générales des exploitations. — Terminus. — Vitesse commerciale. — Horaires. — Perceptions. — Bureaux d'attente et de correspondance. 262

CHAPITRE XI

DÉPENSES

Dépenses de premier établissement : (*a*) Tramways à conducteurs aériens ; (*b*) Tramways à conducteurs souterrains ; (*c*) Tramways

à contacts superficiels ; (*d*) Voitures ; (*e*) Dépôts ; (*f*) Usines et sous-stations. — Dépenses d'exploitation. — Coefficient d'exploitation. — Comparaison avec les autres systèmes de traction. . 273

CHAPITRE XII

CONCESSIONS ET RÉGLEMENTATION ADMINISTRATIVE

Octroi des concessions. — Exécution des travaux. — Établissement des conducteurs aériens et souterrains. — Protection des lignes télégraphiques et téléphoniques. — Exploitation et entretien. — Contrôle. — Cession, emprunt et rachat des concessions. — Réglementation financière. 299

Annexes : Loi du 25 juin 1895 concernant l'établissement des conducteurs d'énergie électrique. — Instruction technique pour l'établissement des conducteurs d'énergie. 313

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY